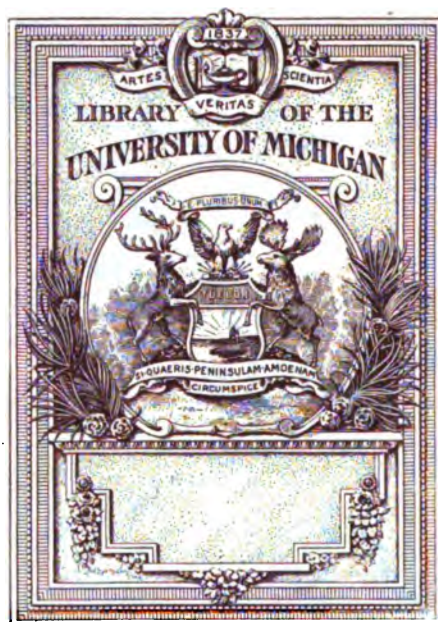

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS,

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS.

2e SÉRIE. — TOME IV.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1892

ANNALES
DU
CONSERVATOIRE
DES ARTS ET MÉTIERS.

RAPPORT

SUR LE PROJET D'INSTITUTION, AU CONSERVATOIRE, D'UNE CHAIRE D'ART APPLIQUÉ AUX MÉTIERS (¹).

Par M. le Professeur ÉMILE TRÉLAT.

MESSIEURS,

La mort de notre regretté collègue Malapert a rendu vacante la *Chaire de Droit commercial*. En pareille occurrence, le règlement du Conservatoire (²) commande au Conseil de Perfectionnement d'examiner si *la chaire vacante doit être maintenue ou modifiée soit dans son titre, soit dans sa nature*.

(¹) Ce Rapport a été présenté au nom d'une Commission chargée par le Conseil de Perfectionnement du Conservatoire d'étudier la question de la vacance de la chaire de Droit commercial de cet établissement.

(²) Arrêté portant règlement du mode de présentation et de nomination aux chaires de haut enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers (9 octobre 1883).

Vous vous êtes réunis le 10 décembre 1890, à l'effet de répondre à cette instruction, et vous avez confié l'étude de la question à une Commission composée de MM. de Foville, de Hérédia, Levasseur, Liébaut, Schlœsing, Spuller, Ém. Trélat et le colonel Laussedat, membre de droit.

Nous avons l'honneur de vous apporter le résultat de nos délibérations.

L'article du règlement qui devait guider notre mission a d'abord été interprété diversement dans la Commission.

Plusieurs membres y lisaient pour le Conseil la mission limitée de choisir entre trois propositions : *le maintien de la chaire existante; la modification de son titre; la modification de son titre et de sa nature*, ce qui voulait dire *substitution de chaire.*

D'autres voyaient dans le texte l'autorisation d'une quatrième proposition : *la suppression de la chaire.*

Cette seconde opinion trouvait un singulier renfort dans la souffrance budgétaire du Chapitre *Matériel des Galeries*, Chapitre considérablement appauvri par les deux chaires récemment créées au Conservatoire et mises à sa charge. Notre Directeur a soigneusement fait connaître dans une Note spéciale les préoccupations qui le hantaient; et plusieurs de nos collègues, visant avec lui la prompte reconstitution des ressources ébréchées de nos galeries, considéraient avant tout l'économie qui résulterait de la suppression de la chaire et les facilités qu'elle apporterait à cette reconstitution au moins partielle. La discussion s'est ainsi engagée sur la suppression de la chaire. Mais elle ne pouvait aboutir sur ce terrain; parce que, quelque sage que pût être la proposition en elle-même, elle retenait l'étude aux marges de la question posée et lui en interdisait l'entrée.

En y pénétrant, votre Commission s'est trouvée en face de trois propositions :

1° Conserver la chaire de Droit commercial;

2° Y substituer une chaire d'Art appliqué aux métiers;

3° Y substituer une chaire de Photographie appliquée aux arts graphiques.

La chaire de *Photographie appliquée aux arts graphiques* a été demandée par le Cercle de la Librairie, de l'Imprimerie et de la Papeterie; elle a été appuyée, sous le nom de *Photographie théorique et technique*, par la Société française de Photographie.

La Commission ne pouvait entendre nommer l'une des deux plus étonnantes conquêtes du siècle sans s'intéresser et sans s'émouvoir. On lui faisait d'ailleurs observer que l'Angleterre, l'Allemagne, l'Autriche et le Japon même possèdent des cours et des laboratoires scientifiques de Photographie, qui font, ajoutait-on, encore défaut à la France, berceau de la Photographie.

Nous ne devions, pourtant, pas oublier que la Photographie a son enseignement général au Conservatoire, dans le cours de Physique appliquée aux arts et nous remarquions que les propositions qui nous étaient faites restaient vagues, et si peu définies qu'on discernait à peine en elles les traces d'un cadre d'enseignement.

Dans ces conditions, et tout en réservant l'idée, votre Commission a renoncé à vous proposer, dès maintenant, la création d'une chaire de Photographie appliquée aux arts.

Cette décision ne laissait plus en présence que deux solutions. Elles ont chacune produit leurs arguments.

La chaire de *Droit commercial* rapprochait, en sa faveur, trois considérations.

On notait d'abord un fait capital : la chaire existe; elle a fonctionné pendant dix ans, et son auditoire est fait. Pourquoi, disait-on, renoncer à un bien acquis et suspendre un service rendu?

En second lieu, le Droit commercial n'a encore pris place que dans un seul haut enseignement. Lui ôter l'amphithéâtre du Conservatoire, ce serait l'exclure des chaires publiques.

Enfin, l'enseignement du Conservatoire vise un double effet : *dispenser la Science dans ses applications aux Arts, professer les lois et les résultats généraux du travail*. Quatorze cours sont affectés au premier objet. Le second n'a, à son service, que les trois cours d'Économie politique, d'Économie

industrielle et de Droit commercial. La proportion n'existerait plus si l'on supprimait le dernier; et le mal serait d'autant plus sensible que le groupe des Sciences appliquées a été considérablement renforcé par la récente création de deux nouveaux cours.

Cette argumentation a motivé les répliques suivantes :

1° S'il est exact de dire qu'un établissement comme le Conservatoire ne doit pas laisser perdre une chaire expérimentée, il est sans doute expédient de saisir l'occasion, quand elle se présente, d'y substituer une chaire plus importante qu'elle ;

2° Si l'enseignement public du Droit commercial est une utilité, sa place est à l'École de Droit, non au Conservatoire des Arts et Métiers;

3° Les cours d'Économie politique et d'Économie industrielle laissent une marge suffisante, aux deux éminents professeurs qui les détiennent, pour exposer amplement *les lois et les résultats généraux du travail.*

La chaire d'*Art appliqué aux Métiers* a été présentée avec des développements qu'expliquent les causes qui la suscitent, l'originalité de son but, la nouveauté de son cadre et l'urgence de sa création. Quelque soin qu'y mette votre Rapporteur, il ne saurait être bref en éclairant ces différents points devant le Conseil et il s'en excuse.

A le considérer dans l'histoire, le Conservatoire des Arts et Métiers apparaît comme la suite directe des corporations délaissées. Les corporations ont disparu parce que, embastionnées dans leurs privilèges, elles formaient de petites sociétés réfractaires à une nationalisation générale. Elles ont été brisées dans le grand brassage révolutionnaire. Le phénomène social était inévitable. Mais, en sombrant pour faire place nette à la nation, elles laissèrent un vide dont les arts devaient beaucoup souffrir. Avec les corporations, chaque métier était une puissante famille, pourvue de lointains ancêtres, assurée d'interminables descendants, et conservant, sous une rigide discipline, un précieux patrimoine d'art. Dans le cercle infranchissable qui les enfermait chacune, elles entretenaient leur plein recrutement avec un soin jaloux et procuraient à

leurs capacités professionnelles une solidité à toute épreuve. Elles obtenaient ce résultat par l'apprentissage, qui est l'unique procédé de l'enseignement de l'art. Avec l'apprentissage on apprenait le métier (*ministerium*) et l'on devenait *maître-artisan*, c'est-à-dire concepteur et arrangeur manuel de bons et beaux objets. Ainsi, les corporations étaient de véritables écoles, qui, par savante et rude contrainte, préparaient d'habiles artisans, d'habiles potiers qui tournaient et montaient de beaux vases, d'habiles céramistes qui cuisaient de brillants émaux, d'habiles joailliers qui meublaient les riches dressoirs, d'habiles ferronniers qui forgeaient d'opulentes grilles, d'habiles tapissiers qui exécutaient d'admirables tentures, etc. Et chacun de ces produits était composé, je veux dire arrangé avec art, selon les ressources propres au métier d'où il procédait, sans dépasser ces ressources, mais en les utilisant toutes. Cela faisait la beauté des objets, l'honneur des métiers, la gloire du pays et souvent la renommée des artisans. Cela préparait aussi les joies que nous ressentons devant les chefs-d'œuvre du passé quand nous les rencontrons.

En disparaissant, les corporations d'Arts et Métiers entraînaient avec elles la ruine de leurs fortes écoles d'artisans. Nos pères virent le danger et ils s'efforcèrent d'y parer. Ils ne pouvaient songer à retrouver les apprentissages fermés, ordonnés et contraints des associations dissoutes. Ils firent un établissement ouvert, dans lequel ils collectionnèrent tous les outillages, tous les modèles, tous les dessins, tous les livres et toutes les descriptions de procédés relatifs aux arts et métiers. Ils décidèrent que l'original des instruments et machines inventés ou perfectionnés y serait déposé; que tous les moyens de perfectionner les arts et métiers seraient transmis partout où cela serait jugé utile, par l'envoi de descriptions, de dessins, ou même de modèles; que l'ensemble des découvertes consignées aux divers rapports dispersés dans les administrations publiques serait publié. En outre, ils instituèrent des démonstrateurs chargés d'expliquer la construction et l'emploi des outils et machines utiles aux arts et métiers. Enfin, voulant montrer la marque indélébile du but qu'ils

poursuivaient, ils donnèrent à leur fondation le beau nom de *Conservatoire des Arts et Métiers* (¹).

Depuis quasi cent ans, notre institution s'est développée sur ces bases. La portion de l'ancien prieuré de Saint-Martin-des-Champs qui lui avait primitivement été affectée s'est agrandie en gagnant alignement sur la voie publique. Une restauration remarquable des anciens bâtiments a été effectuée. Des constructions neuves ont été élevées pour contenir de riches collections quatre fois décuplées (²) et nombreusement visitées. Huit laboratoires ont été créés. Trois amphithéâtres ont été ouverts. Seize professeurs, qui ont remplacé les trois démonstrateurs installés à l'origine, en occupent les chaires et entretiennent, autour d'eux, des auditoires copieusement nourris. Un dépôt des brevets d'invention expirés, des collections de brevets étrangers, un portefeuille industriel et une bibliothèque de près de 35000 volumes ont trouvé place dans nos locaux. Le Conservatoire est aujourd'hui logé dans un des plus importants monuments de Paris, et sa large clientèle le désigne comme un des établissements publics les plus utiles et les plus populaires. Ce n'est donc pas la prospérité qui a manqué à la fondation du 19 vendémiaire an III.

Il faut pourtant, Messieurs, examiner si tout se tient au mieux dans notre institution, si certains indices ne nous avertissent pas, si la belle progression qu'a suivie notre enseignement ne s'attarde pas, si l'orientation qui l'a servie jusqu'à présent veut être strictement conservée ou si elle demande quelque correctif. L'occasion nous y sollicite et votre Commission n'a pas cru devoir se soustraire à cet examen.

Voici un fait qui n'échappe à aucun de nous. Depuis que notre Direction a fait dresser année par année les courbes comparatives du nombre de nos auditeurs, on voit que ce nombre s'est rapidement et régulièrement élevé jusqu'en 1883-84. Pendant cette année-là, le chiffre total des auditeurs

(¹) Loi du 19 vendémiaire an III (10 octobre 1794) portant établissement, à Paris, d'un Conservatoire des Arts et Métiers.

(²) Il y a aujourd'hui environ 12000 objets ou groupes d'objets dans les galeries.

entrés aux amphithéâtres a atteint 140 440, ce qui correspond à un chiffre moyen de 262 auditeurs pour chacune de nos chaires. Depuis 1883-84, les chiffres ont décru. Le nombre des auditeurs est progressivement descendu. En 1890, il est tombé en total à 90 730; en moyenne, par chaire, à 166. Les courbes qui marquent la tenue de chacun de nos cours suivent la même allure que la courbe générale, en sorte qu'on ne peut pas considérer le phénomène qui se dévoile comme la simple marque de quelque incidence passagère.

Que faut-il induire de cette révélation? Aucun de nous n'a voulu y lire les prodromes d'un déclin. Nos amphithéâtres sont emplis d'un public fort mêlé. Nous avons tous autour de nous trois ordres d'auditeurs :

1° Des auditeurs capables de suivre de point en point les leçons professées;

2° Des auditeurs qui ne suivent qu'avec peine, faute d'instruction première;

3° Des auditeurs que les circonstances ou les hasards introduisent chez nous, comme dans tous les amphithéâtres ouverts au public.

La première et la troisième classe nous restent. Mais les Associations Polytechnique et Philotechnique, et d'autres encore, accroissent incessamment le nombre de leurs cours, et c'est à cet enseignement, moins élevé et plus accessible que le nôtre, que se porte de plus en plus notre seconde classe d'auditeurs. Cette explication très plausible nous laisse la croyance que nous conservons nos auditoires adaptés. Elle peut calmer nos inquiétudes, elle ne saurait pourtant les abolir et faire taire les légitimes préoccupations qui nous commandent d'ouvrir les yeux à l'horizon et de prévoir les lendemains.

Le milieu social s'est entièrement modifié depuis la création du Conservatoire des Arts et Métiers. L'émancipation du pays en accroissant l'activité générale, la liberté du travail en multipliant les richesses, la sécurité publique en ouvrant à l'épargne grossie la voie des entreprises, ont fait le *capital-association*, qui, sous la conduite de la science prodigieuse du siècle, a donné le jour à l'Industrie. Puissance bienfaisante et trou-

blante, qui a procuré le bien-être économique à la démocratie et suscité les crises ouvrières; puissance formidable, qui tient aujourd'hui la société moderne sous son joug et qui croît sans cesse! C'est le mérite et l'honneur du Conservatoire d'avoir entretenu cet éminent agent de la civilisation, en répandant dans nos amphithéâtres les connaissances, les méthodes et les procédés industriels que commandait la Science. Cette tâche, il l'a accomplie sans relâche en multipliant ses cours et en enrichissant ses galeries. Il le faisait encore hier par la création des chaires de Métallurgie et d'Électricité. Il le fait en sollicitant incessamment de l'État l'accroissement de ses locaux devenus insuffisants pour ses collections. Assurément la critique n'a pas sa place ici.

Mais le Conservatoire des Arts et Métiers a le devoir de regarder plus haut que l'Industrie pour fixer sa tâche. Il en a le devoir parce que la prépondérance industrielle est un fait postérieur à sa fondation, et parce que cette prépondérance a jeté le désordre dans le domaine des arts et métiers dont la garde lui avait été confiée. Il faut s'expliquer.

Au temps où brillaient les arts et métiers, qu'étaient les objets qui sortaient de chez eux? C'était des objets sur lesquels la main de l'artisan avait laissé sa marque, car elle y avait directement passé. Cette marque était émouvante comme un instant de vie qui s'était posé là. Elle était plaisante, parce que l'artisan était expert en son art et que son éducation lui défendait d'offenser le goût et d'excéder les bornes du métier qu'il servait. S'il était potier, il voulait enceindre son vase d'une franche silhouette, y tourner une *panse* souveraine, sur laquelle la lumière rebondie, caressée ou perdue, dégageât toutes les modulations d'éclairage, depuis l'éclat d'un choc lumineux jusqu'aux ténèbres des sombres retraites, en passant par les plus douces et les plus fines transitions. Cette localité de choix était l'objet et le nœud de la composition; tout le reste gardait pour elle le rôle de simple faire-valoir. — Le potier voulait-il enrichir son ouvrage, donner quelque précieux nouveau à sa terre? Il couvrait d'un niellé tranquille et sobre toutes les surfaces, dont il fortifiait ainsi la nécessaire monotonie. —

N'était-ce point assez ? Il parsemait le tout de petites touches coloriées, semblables, régulières, de façon à rehausser le fond sans contrebattre en rien la tournure du vase. — Fallait-il aller plus loin encore, ajouter à la conquête des yeux la satisfaction plus lente d'une curiosité de l'esprit ? Il sollicitait celle-ci en répandant sur la panse nue une sous-composition, valeur discrète, assez effacée pour ne s'imposer à la lecture qu'après l'apaisement des joies de la vue d'ensemble. Mais jamais le fier artisan n'aurait consenti à déshonorer son haut relief de potier par l'intrusion d'un motif quelconque détachant son indépendante solitude sur le fond, et tuant la composition par une tapageuse distraction. Le potier savait composer, c'est-à-dire assembler en un tout des éléments susceptibles d'unité et rejeter ceux qui étaient réfractaires à cette unité. C'était là sa méthode. Le moyen venait après ; et il se trouvait, approprié, ingénieux et divers selon les cas. Par là sortaient des ateliers de précieux originaux. Et fallût-il les rééditer, tous les exemplaires gardaient ce cachet de vivance, issu des touches et des retouches de la main qui les avait ordonnés. Il en était de même dans chaque métier; et c'est ainsi que furent faits les innombrables objets d'art qui ont joué dans le concert glorieux de notre histoire et qui ont placé la France en tête du goût et de l'élégance.

Après l'avènement et avec la prépondérance de l'Industrie, les choses ont changé. Envisagée dans son utilité et dans sa tâche, l'Industrie est un agent qui manufacture économiquement des produits nombreux et similaires; produits nombreux pour réduire les frais généraux; produits similaires pour être machinés et diminuer la main-d'œuvre. Quel que soit l'appareil qui fournisse le résultat, il emprunte à la rectitude de l'outil de machine une extraordinaire précision dans la similitude des exemplaires. C'est l'ambition et l'orgueil de l'industriel de pousser cette précision jusqu'à l'identité. Il s'y efforce incessamment et il y parvient de mieux en mieux. — Admirable progression manufacturière, admirable victoire du bon marché, admirable conquête du bien-être et des faciles satisfactions matérielles offertes aux besoins journaliers de la vie ! C'est le profit et le bienfait de la division du travail autour de la machine. Oui ! Mais aussi c'est l'avènement de l'ouvrier

esclave de l'appareil producteur, et la disparition de l'artisan maître de l'objet façonné; c'est aussi le règne du débit machiné et la suppression du *faire* de la main de l'homme, c'est enfin, partout, la présence de l'objet de fabrique, qui suinte la fatigue ou l'ennui, et l'expulsion de l'objet d'art, qui appelle la caresse amoureuse des yeux ou le toucher délicat de la main.

Peut-on penser que cet ensemble de substitutions soit un bienfait social ? Ou faut-il croire qu'une société bien équilibrée doit posséder des manufactures riches, des ouvriers nombreux, des machines expéditives et des produits à bon marché pour faciliter l'existence ; et, en même temps, des métiers expérimentés, des artisans habiles, et des ouvrages d'art pour entretenir le goût et l'exercice salutaire d'aimer les belles choses? L'hésitation n'est pas possible. L'industrie est fortifiante, l'art est éducateur. Une nation doit être forte pour agir, et élevée dans ses pensées et dans ses goûts pour se diriger. Ce n'est pas le lieu de disserter sur ces grands sujets, qui nous trouveraient assurément tous d'accord ici. Mais c'est déjà l'occasion d'observer que l'art dans les métiers s'est laissé obscurcir, et qu'après une longue carrière vouée à l'industrie, le Conservatoire des Arts et Métiers ne lui offre dans son cadre aucun moyen de le servir.

Nous rappelons ici quelques faits que vous connaissez tous, Messieurs, mais qui appuient singulièrement les considérations précédentes. La France, et particulièrement sa capitale, ont longtemps tenu le monopole du goût. Pour les deux derniers siècles, c'est indiscutable. Mais notre époque a vu diminuer notre suprématie. En 1851, à l'Exposition de Londres, on s'aperçut qu'après nos récentes commotions politiques, les Anglais, utilisant le talent de nos artisans exilés, s'efforçaient de rivaliser avec nous dans les arts. Peu de temps après, ils fondaient leur beau South Kensington Museum, dont ils organisaient l'action rayonnante sur tout le territoire du royaume. Le grand rapport sur les Beaux-Arts du comte de Laborde parut à cette époque et jeta dans les esprits les plus vives préoccupations sur l'avenir des arts en France. Depuis, le South Kensington a porté ses fruits et l'Angleterre nous a mis plus d'une fois en échec dans les expositions

universelles avec ses meubles et sa céramique. L'Autriche a suivi, l'Allemagne s'est ébranlée, les États-Unis, eux-mêmes, sont entrés en lice. La menace est aujourd'hui flagrante, et ce qu'on nomme l'article de Paris, qui ne rencontrait jadis de concurrence nulle part, voit décroître sa réputation et baisser son crédit.

Qu'avons-nous pour nous défendre? Depuis la disparition des apprentissages forcés des corporations, le désordre s'est fait dans les corps ouverts des arts de métiers, faute de direction. De louables et généreux efforts ont été faits pour orienter leur marche; mais ils n'ont abouti qu'à créer des enseignements incohérents ou mal définis. Des initiatives audacieuses et brillantes se sont produites; mais les métiers restent désemparés. Ils vivent de tâtonnements maladroits et, surtout, d'emprunts réciproques qui troublent les œuvres, perdent leur caractère et compromettent, avec les intérêts de l'art, la renommée nationale. Le mal est grand. Il est très grand, parce qu'il s'agit ici d'un don de race menacé de perdition. Le Français est plasticien par essence. C'est ce tempérament qui lui a valu la prépotence qu'il a exercée sur le goût dans le monde de la Forme. L'évolution capitale du siècle l'a jeté dans le grand courant industriel, où il a mis toutes ses activités, et où il rencontre la concurrence générale des nations; car tout peuple riche peut faire de l'industrie, et de la bonne. Ses produits trouvent ainsi partout des produits similaires qui les valent ou peuvent les valoir. Il n'en est pas de même dans le domaine de l'art, où il bénéficie des capacités que la nature a données à sa race, sans les donner à d'autres. C'est ce domaine, amoindri, délaissé, qu'il est urgent de refaire.

Votre Commission estime que les circonstances commandent la fondation d'un enseignement supérieur, dont le rôle serait d'introduire l'ordre et la méthode dans les enseignements multiples et divers connus sous le nom d'écoles professionnelles industrielles. Les professeurs de ces écoles, leurs anciens élèves, les chefs de maisons d'art constitueraient la clientèle du nouvel enseignement. Votre Commission estime que le Conservatoire des Arts et Métiers, par son titre, par

ses origines et par l'autorité qu'il s'est acquise depuis un siècle dans le monde du travail, est en devoir de proposer au Ministre la création, chez lui, d'une *chaire d'Art appliqué aux métiers*. Elle a, en conséquence, l'honneur de soumettre cette proposition à vos votes.

La Commission ne s'en est pas tenue à cette conclusion dans son étude. Elle a compris que, si les considérations et les faits exposés plus haut sont de nature à faire comprendre l'importance et la portée de la chaire proposée, ils sont insuffisants à en définir le cadre et la matière. D'ailleurs, elle a prévu que, l'objet du nouvel enseignement n'ayant pas de précédents, il y avait lieu d'éclairer les personnes qui entreraient en compétition pour l'obtenir. Elle a, en conséquence, dressé un canevas de cours, sur lequel les candidats appelés en concurrence rédigeraient un programme définitif. Les mérites des candidats seraient appréciés et classés sur les valeurs réunies des programmes et des titres présentés.

Voici le canevas :

« Le cours d'*Art appliqué aux métiers* comprendra 80 leçons professées en deux années.

» Son but est d'exposer les méthodes de composition et les procédés qui conviennent à l'exercice et au développement de ce qu'on nommait autrefois les métiers d'art : *Poterie, Céramique, Joaillerie, Orfèvrerie, Bijouterie, Ferronnerie, Meuble, Tapisserie*, etc.

» Son rôle est de préciser, en le parcourant, le champ d'action qui appartient à chaque métier, ainsi que la nature et les limites des ressources d'art dont il peut légitimement disposer.

» Tous les ouvrages des métiers d'art sont des objets justiciables de la vue. C'est par les yeux qu'ils sont prisés ou méprisés. Tous les métiers doivent donc connaître les grandes lois de *la plastique*, bien que la plupart d'entre eux n'y soient que partiellement soumis. En conséquence, le cours ouvrira tous les ans par cinq ou six leçons de plastique générale.

» Le reste des leçons sera successivement consacré aux divers métiers. »

NOTE

SUR LE PROJET D'INSTITUTION,

AU CONSERVATOIRE,

D'UNE CHAIRE D'ART APPLIQUÉ AUX MÉTIERS [1].

Par le Colonel A. LAUSSEDAT.

MESSIEURS,

Avant de reprendre la discussion du Rapport de notre honorable collègue M. Trélat, je pense qu'il est indispensable d'édifier la plupart d'entre vous sur cette question qu'ils peuvent s'être faite.

Est-ce seulement aujourd'hui que l'on s'aperçoit de l'importance d'une chaire d'Art industriel ou d'Art appliqué aux métiers, comme elle est qualifiée dans le rapport si lumineux, si pressant dont vous avez entendu la lecture et que vous avez pu relire sur l'autographie qui vous en a été adressée?

Je méconnaîtrais un devoir essentiel de ma position en ne rappelant pas à ceux qui en ont entendu parler, en n'apprenant pas à ceux qui pourraient l'ignorer, que la préoccupation très sérieuse et très justifiée de l'enseignement dont il s'agit est fort ancienne.

Notre éloquent rapporteur a fait remonter cette préoccupation à l'origine même de l'institution, en citant des extraits du

---

[1] Cette Note a été lue à la séance du Conseil de Perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers en date du 6 juin 1891.

écret du 19 vendémiaire an III dont l'un des articles est ainsi conçu :

« La commission d'agriculture et des arts transmettra partout, quand elle le jugera utile à la République, tous les moyens de perfectionner les arts et les métiers, par l'envoi de descriptions, *de dessins et même de modèles.* »

Et l'article suivant ajoute :

« Le Conservatoire des Arts et Métiers sera composé de *trois démonstrateurs et d'un dessinateur,* » etc.

La nécessité de ne pas se contenter de démonstrations et de descriptions, mais de recourir au dessin pour fixer avec précision et aussi avec goût les formes des objets, de montrer des modèles à étudier était tellement sentie que, bien avant l'enseignement oral des sciences appliquées aux arts, dès 1796, c'est-à-dire au début ou même antérieurement au fonctionnement du Conservatoire, Molard, l'un des premiers démonstrateurs, s'occupait d'ouvrir une école élémentaire de dessin que nous avons tous connue sous le nom de *petite école* et qui a été supprimée parce que, l'exemple qu'elle avait donné ayant été suivi partout, il existe aujourd'hui des écoles analogues dans tous les quartiers de Paris.

Les services qu'a rendus cette première et excellente fondation ont été mis en lumière par M. le général Morin dans une Notice publiée en 1864, à laquelle je vous demande la permission de faire beaucoup d'emprunts pour justifier ma propre insistance en faveur de la création d'une chaire d'Art appliqué aux métiers ou à l'industrie!

« Sous la direction de Leblanc, dit le général Morin, cette école fut le berceau de l'enseignement du dessin géométrique, tel qu'il s'est si bien développé dans les écoles d'Arts et Métiers et dans les écoles techniques du pays. Les professeurs actuels (c'était en 1864) du dessin géométrique à l'École Polytechnique, à celle des Ponts et Chaussées, à celle des Mines, ainsi qu'à l'École Centrale des Arts et Manufactures, sont tous des anciens élèves de Leblanc au Conservatoire. »

Et, pour aller au devant de l'objection que je prévois moi-même de la part de quelques personnes qui pourraient vouloir distinguer le dessin géométrique de la composition artistique appliquée à l'industrie, M. le général Morin ajoutait immédiatement :

« Si la diffusion de l'enseignement du dessin a ôté à cette école élémentaire son importance, l'avenir, en élevant sa destination jusqu'à l'*enseignement de l'art industriel*, pourrait lui en donner une bien plus considérable et non moins avantageuse au pays. »

Revenant plus loin, dans la même Notice, sur ce sujet, mon éminent prédécesseur rappelle les vœux exprimés, à diverses reprises, par les artistes industriels et par la Chambre de Commerce de Paris, à l'effet d'obtenir la création d'un enseignement, d'un centre d'étude pour l'art appliqué à l'industrie, et ces artistes, MM. Klagmann, Clerget et Chabal-Dussurgey, dont je mets les importants Mémoires à votre disposition, aussi bien que la Chambre de Commerce, désignaient le Conservatoire des Arts et Métiers comme le lieu d'élection où devait être organisé cet enseignement.

Je ne pourrais mieux faire que de vous lire, *in extenso*, l'exposé si clair, si convaincant des motifs invoqués, depuis quarante ans, en faveur de l'enseignement que votre Commission vous propose d'instituer enfin, en profitant de la vacance d'une chaire dont ni le Conseil de Perfectionnement, ni la Chambre de Commerce, ni aucun groupe compétent n'avaient eu l'idée de réclamer la création au Conservatoire des Arts et Métiers :

« ... Après l'Exposition universelle de Londres en 1851, nos artistes industriels, émus des efforts extraordinaires que l'Angleterre s'était déterminée à faire pour disputer à la France le sceptre du goût, demandaient déjà, comme aujourd'hui, qu'un musée et un centre d'étude fussent créés en France pour l'Art appliqué à l'industrie.

» A l'occasion de ce vœu de l'industrie nationale, le Directeur du Conservatoire, dans un Mémoire adressé à l'Empereur, en 1854, s'exprimait en ces termes :

« Votre Majesté, après la visite qu'elle fit au Conservatoire
» en 1850, avait ordonné qu'un projet de loi spécial proposât
» à l'Assemblée législative l'achèvement des travaux d'agran-
» dissement commencés, et un crédit fut demandé à cet effet :
» les difficultés financières du moment ont fait ajourner ce
» projet.

» Depuis cette époque, l'Exposition universelle de Londres
» a manifesté à l'Angleterre la supériorité de la France dans
» les arts qui dépendent du goût, de la forme et de la couleur.
» Au lieu de la contester, elle s'est mise de suite à l'œuvre
» avec ses immenses ressources et avec son énergie habituelle
» pour créer des musées, des écoles de dessin, et en couvrir
» le pays. La Reine, les particuliers, ont dépouillé leurs col-
» lections pour enrichir les musées de l'art pratique des plus
» beaux échantillons de porcelaines de Sèvres, de bronzes, de
» sculptures, etc.

» On impose aujourd'hui en Angleterre aux instituteurs
» primaires la condition de savoir dessiner, pour qu'ils puis-
» sent commencer à habituer l'enfance aux règles de *la forme*
» et de *la couleur*.

» Il semble que les Anglais veuillent opérer sur l'espèce
» humaine comme ils l'ont fait sur les races d'animaux, et
» transformer un peuple de commerçants et d'ouvriers en
» une nation d'hommes de goût. Jusqu'à quel point la race
» anglo-saxonne se prêtera-t-elle à cette transformation?
» C'est une question philosophique qu'il ne m'appartient pas
» de traiter.

» Mais ce que l'on peut regarder comme certain, c'est que
» d'ici à peu d'années l'Angleterre aura fait d'immenses pro-
» grès dans les arts du dessin.

» En France, au contraire, des vues étroites de production à
» bon marché tendent sans cesse à dégrader l'art, et si un
» grand établissement où seraient réunis quelques-uns des
» types et des modèles les plus parfaits de l'art ancien et
» moderne à un enseignement méthodique ne venait sans
» cesse raviver et redresser le goût, une décadence serait à
» craindre.

» Déjà Votre Majesté a été sollicitée par les plus habiles de

» nos artistes de fonder une grande école de dessin au Con-
» servatoire des Arts et Métiers, et d'accomplir ainsi la pensée
» émise dès le commencement de ce siècle par l'empereur
» Napoléon Ier. »

» Les appréhensions exprimées, dès l'année 1854, par cette lettre ont été confirmées par les rapports de plusieurs membres du Jury de l'Exposition universelle de 1862, et ils proclament aujourd'hui l'urgence qu'il y aurait de réparer le temps perdu sous ce rapport.

» Presque à la même date, la Chambre de Commerce de Paris exprimait le même vœu dans une lettre qu'elle adressait le 30 janvier 1854, à M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, en lui exprimant « qu'il y aurait un
» intérêt réel dans l'ouverture d'un musée de dessins indu-
» striels et de modèles d'ornements au Conservatoire des Arts
» et Métiers, ainsi que dans la construction de salles suffisam-
» ment spacieuses pour offrir de la place aux élèves qui se
» présentent. »

Nous ne pouvons pas avoir la prétention de remplir en entier ce programme, dans les circonstances actuelles, et nous n'ignorons pas, d'ailleurs, que le Musée de l'Union Centrale et l'École Nationale des Arts décoratifs sont destinés à répondre et répondent, en effet, à quelques-uns des besoins essentiels auxquels il s'agit de satisfaire. Mais nous n'avons pas moins le devoir, dans le milieu si intelligent, si attachant qui nous entoure, qui fréquente le Conservatoire pour compléter son instruction, de faire tous nos efforts pour réagir contre les défaillances que le général Morin qualifie si bien de vues étroites de production à bon marché.

Je ne dois pas insister et m'exposer à reproduire, sans leur donner plus de force, les arguments accumulés dans le rapport de M. Trélat; je tenais seulement à montrer que le projet d'un enseignement de l'Art appliqué à l'industrie, aux métiers, existe et que la Direction du Conservatoire n'a laissé échapper aucune occasion d'en réclamer la réalisation.

Dès 1853, un artiste industriel d'un grand mérite, M. Dié-

terle, avait été appelé à faire partie du Conseil de Perfectionnement pour lui prêter son concours, dans le cas où le vœu dont le général Morin s'est fait l'interprète eût pu être réalisé.

En 1880, mon prédécesseur immédiat, M. Hervé Mangon, désignait de même au choix du Ministre nos excellents collègues, MM. Antonin Proust, Georges Berger et Barbedienne, dont la haute compétence en matière d'art industriel est bien connue.

J'ai saisi moi-même toutes les occasions qui se sont présentées de rappeler que l'une des chaires qui manquaient au Conservatoire était celle dont nous nous occupons.

Je ne puis que vous renvoyer, à ce sujet, aux paroles que j'ai prononcées en vous faisant part du décès de M. Diéterle et à l'introduction placée en tête du *Recueil des lois, décrets et ordonnances concernant le Conservatoire* que vous m'avez invité à publier et qui vous a été distribué.

Si toutes ces considérations rétrospectives jointes aux évidences du Rapport de M. Trélat ne vous déterminent pas à profiter d'une occasion peut-être unique, la Direction du Conservatoire n'aura pas, du moins, à se reprocher de ne les avoir pas invoquées à l'heure décisive, elle ne pourra que regretter de n'avoir pas eu le temps de réunir et de mettre sous vos yeux les documents innombrables qui témoignent des efforts prodigieux des grands pays industriels de l'Europe et du nord de l'Amérique pour former le goût du public et pour inciter les artistes comme les artisans, ceux qui conçoivent et ceux qui exécutent, à s'élever au-dessus des *vues étroites de la production à bon marché.*

L'enseignement que votre Commission vous propose de substituer à celui du Droit commercial contribuerait, à coup sûr, efficacement à faire atteindre ce double but, dans notre pays.

Depuis que le rapport de M. Trélat est rédigé conformément au vote de la Commission, une nouvelle démarche très instante a été faite auprès de la Direction par le M. Président du Comité d'administration de la *Société française de Photographie.*

Personnellement, je suis persuadé qu'une chaire destinée à vulgariser les procédés dont s'enrichit tous les jours cette

branche de la Science ainsi que tous ceux qui servent aux perfectionnements de l'*art du livre* serait absolument à sa place au Conservatoire. Par certains côtés même, elle confinerait à celle à laquelle votre Commission a donné la préférence, et, si nos ressources étaient suffisantes, il conviendrait de les proposer toutes les deux à la fois au Ministre. Mais tel n'est point notre cas, vous le savez; je ne crois donc pas devoir insister en ce moment, après l'avis si explicite de votre Commission consigné dans le rapport de M. Trélat, pour mettre en délibération le vœu exprimé par le *Cercle de la Librairie* et par la *Société française de Photographie*, vœu qui se reproduira sans doute et que des circonstances plus favorables nous permettront, je l'espère, d'accueillir à son tour.

LISTE GÉNÉRALE

DES CONFÉRENCES DE PHOTOGRAPHIE,

Organisées en 1891-1892

AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS (¹).

22 NOVEMBRE. — 1° **Allocution** de M. le colonel LAUSSEDAT, directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers;

2° **Invention et applications de la Photographie**, par M. A. DAVANNE, président du Comité d'administration de la Société française de Photographie.

6 DÉCEMBRE. — **La Chronophotographie**, par M. G. DEMENŸ, chef du Laboratoire de la Station physiologique (annexe du Collège de France).

13 DÉCEMBRE. — **La Photographie des couleurs**, par M. G. LIPPMANN, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

20 DÉCEMBRE. — **La Photographie astronomique**, par M. JANSSEN, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, président de la Société française de Photographie.

27 DÉCEMBRE. — **La Photographie sans objectif**, par M. COLSON, capitaine du Génie, répétiteur à l'École Polytechnique, membre de la Société française de Photographie.

(¹) Ces conférences sont publiques et ont lieu le dimanche, de deux heures et demie à quatre heures de l'après-midi, dans le grand amphithéâtre de l'établissement.

10 JANVIER. — **La Chimie photographique**, par M. C. Fabre, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Toulouse.

17 JANVIER. — **La Photographie céleste**, par M. A. Cornu, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, Professeur à l'École Polytechnique, membre d'honneur de la Société française de Photographie.

24 JANVIER. — **La Photographie médicale**, par M. A. Londe, chef du service photographique de l'Hôpital de la Salpêtrière, membre du Comité d'administration de la Société française de Photographie, vice-président de la Société d'excursions des amateurs photographes.

31 JANVIER. — **La Photographie militaire et la Photocartographie**, par M. le commandant Fribourg, chef du service des reproductions et tirages à l'État-major général de l'Armée (Service géographique), membre de la Société française de Photographie.

7 FÉVRIER. — **La Photogravure en relief et en creux, la Photochromographie, et leurs applications à l'industrie du Livre**, par M. L. Vidal, professeur à l'École nationale des Arts décoratifs, membre de la Société française de Photographie.

14 FÉVRIER. — **L'Histoire d'un Objectif photographique**, par M. É. Wallon, professeur de Physique au Lycée Janson de Sailly, membre de la Société française de Photographie.

21 FÉVRIER. — **L'Enregistrement des phénomènes naturels à l'aide de la Photographie**, par M. E. Trutat, directeur du Musée d'histoire naturelle de Toulouse.

28 FÉVRIER. — **L'Iconométrie et la Métrophotographie**, par M. le colonel Laussedat, directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.

6 MARS. — **La Microphotographie**, par M. L. Duchesne, membre de la Société française de Photographie.

13 MARS. — **Les Appareils panoramiques et les Panoramas**

photographiques, par M. le commandant MOËSSARD, attaché à l'État-Major général de l'Armée, membre de la Société française de Photographie.

20 MARS. — **L'Héliochromie et les Actions chimiques de la Lumière**, par M. H. BECQUEREL, membre de l'Institut, répétiteur à l'École Polytechnique.

27 MARS. — **Les Procédés usuels de la Photographie et leurs applications**, par M. CH. GRAVIER, inspecteur principal à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, professeur à l'Association philotechnique, membre de la Société française de Photographie.

3 AVRIL. — **Les Pellicules photographiques et leurs applications aux Impressions mécaniques**, par M. G. BALAGNY, président de la Société d'études photographiques, membre de la Société française de Photographie.

10 AVRIL. — **La Physique photographique**, par M. A. BUGUET, professeur de Physique au Prytanée militaire.



CONFÉRENCES
SUR LA PHOTOGRAPHIE
THÉORIQUE ET TECHNIQUE.

DISCOURS PRONONCÉ

A LA SÉANCE D'OUVERTURE, LE 22 NOVEMBRE 1891,

Par le Colonel A. LAUSSEDAT.

MESSIEURS,

En inaugurant aujourd'hui la série des conférences qui seront faites cet hiver au Conservatoire sur la Photographie, je dois vous fournir quelques explications sur le but que nous cherchons à atteindre, mes collaborateurs et moi.

Et d'abord, à qui appartient l'initiative de cette expérience? Faut-il remercier mes collaborateurs de leur concours, ou bien sont-ils mes obligés?

Mon sentiment est que nous sommes quittes les uns envers les autres, et que c'est cette personne insaisissable, quoiqu'elle soit partout, qui s'appelle tout le monde, qui doit nous savoir gré de ce que nous entreprenons dans des conditions assez difficiles. Vous allez en juger vous-mêmes.

Au commencement de cette année, je recevais, en même temps, à la même date, une invitation de la *Société française de Photographie* et une autre du *Cercle de la Librairie* à vouloir bien étudier la question de l'organisation d'un cours

public de Photographie au Conservatoire des Arts et Métiers.

Personne n'est plus convaincu que moi que cet art merveilleux, né en France, où il a été cultivé par tant d'hommes éminents qui lui ont fait faire les plus grands progrès, mérite toute notre sollicitude en même temps que toute notre admiration et notre reconnaissance, car il nous procure des jouissances de tout ordre et de toute nature, depuis la contemplation des spectacles, des phénomènes les plus grandioses, les plus fugitifs et les plus secrets de la nature, jusqu'à celle des traits des personnes qui nous sont ou nous ont été chères, présentes ou absentes.

Et si l'on considère que cet art s'étend et se prête à une foule d'applications industrielles et qu'il constitue lui-même une industrie désormais considérable, on comprendra aisément qu'il était de mon devoir de répondre avec empressement à l'ouverture qui m'était faite par les deux compagnies les plus autorisées, la Société française de Photographie qui porte un si beau nom dont elle est digne, et le Cercle de la Librairie dont les membres apprécient, comme elles le méritent, les ressources si précieuses que leur fournit la Photographie.

Si cela ne dépendait que de moi, la chaire de Photographie théorique et technique existerait déjà au Conservatoire des Arts et Métiers. Mais les meilleurs projets ne se réalisent pas, même dans les pays les plus éclairés, au gré de ceux qui les conçoivent ou de ceux qui en comprennent toute l'importance. On doit compter avec les difficultés matérielles au moins autant qu'avec celles qui naissent d'habitudes d'esprit qu'il faut bien qualifier par leurs noms : parti pris, routine ou ignorance, ce qui est la même chose, indifférence enfin, la plus dangereuse de toutes.

Mon rôle est, nécessairement, de tenir compte de ces difficultés, mais aussi de voir si elles sont ou ne sont pas insurmontables. Je vais donc examiner loyalement devant vous, avec mes propres lumières et après avoir consulté des personnes très compétentes et de très bonne foi, les trois objections que l'on peut faire, qui ont été faites à un enseignement régulier de la Photographie au Conservatoire.

La première de ces objections, c'est que les principes de la Photographie sont déjà enseignés dans le cours de Physique; la seconde, c'est qu'on aurait de la peine à trouver la matière suffisante pour composer quatre-vingts leçons, à raison de quarante par année, la rotation des cours devant être ici de deux années au moins; enfin, la troisième, c'est qu'il faudrait encore de l'argent pour le professeur, le préparateur et le laboratoire de Photographie.

Ces objections pourront faire impression sur beaucoup de personnes et j'avoue qu'elles m'ont arrêté moi-même, non pas que je ne sentisse qu'il y en avait au moins deux auxquelles il était aisé de répondre, mais parce que la troisième est plus que suffisante pour tout compromettre. Il est vrai que celle-là existe partout et toujours, toutes les fois qu'il s'agit de créer quoi que ce soit; j'ai donc surmonté mon hésitation, en me souvenant que l'on ne fait rien sans peine, et que, dans le temps où nous vivons et où tout le monde a voix au chapitre, on peut faire appel au concours de tout le monde pour combattre les préjugés et vaincre les difficultés.

Reprenons donc les objections une à une pour voir au juste ce qu'elles valent.

La Photographie, dit-on, est déjà enseignée au Conservatoire. On en disait autant, il y a très peu de temps encore, de l'Électricité. Je ne crois cependant pas que ceux-là mêmes qui contestaient l'utilité d'un enseignement plus développé de cette science prestigieuse, refuseraient de reconnaître aujourd'hui que nous avons bien fait de ne pas trop les écouter. S'il en était autrement, je les engagerais à aller les lundis et les jeudis à l'amphithéâtre de M. Marcel Deprez.

La Physique, comme sa sœur la Chimie, qui a maintenant quatre et même cinq chaires au Conservatoire, si l'on compte pour l'une d'elles la Métallurgie, est destinée à se diviser en plusieurs branches. Après l'Électricité, ce serait sûrement le tour de la Photographie. Celle-ci est-elle, d'ores et déjà, assez forte pour réclamer son autonomie? Nous sommes ainsi amenés à examiner la seconde objection à laquelle nous n'avons cru pouvoir mieux répondre qu'en organisant ces conférences.

Sans doute, nous ne ferons pas, cette année, quarante conférences, d'abord et avant tout, parce que nous ne disposons pas des quarante dimanches qui seraient nécessaires, et puis, parce que notre but est plutôt de faire une revision générale, de dresser, en quelque sorte, une Table des matières de l'Encyclopédie photographique, qu'un exposé méthodique et didactique impossible à entreprendre sans avoir beaucoup de temps à lui consacrer. Nous avons pensé que c'était là un mode de démonstration qui en valait bien un autre, et le Tableau que je mets sous vos yeux peut être considéré comme le sommaire de cette Table des matières. Ce Tableau ([1]) contient les noms des conférenciers, les dates et les titres de chaque conférence. Vous y voyez qu'il y aura une conférence, une seule, pour la Physique photographique et une seule pour la Chimie. Évidemment ceux qui s'en sont chargés ne parviendront qu'à effleurer chacun de ces sujets fondamentaux, à en marquer les traits généraux et à faire sentir l'importance de leur étude. Je dois vous faire remarquer, à ce propos, que nous n'avons pas pu suivre un ordre logique dans la répartition des dates, parce qu'il y avait des convenances et des obligations personnelles à respecter.

En parcourant ce Tableau, vous trouverez toujours une seule conférence sur les sujets suivants :

La Chronophotographie (en grande partie créée en France par le Dr Marey), c'est-à-dire la Photographie appliquée à l'étude des mouvements des êtres animés;

La Photographie appliquée à la Médecine, comprenant l'étude des effets de la douleur, des affections nerveuses et mentales, etc.;

Nous avons reculé, dans cette revue rapide, devant les applications à la criminalité, si intéressantes d'ailleurs à bien des points de vue.

La Photographie astronomique, appliquée surtout à l'étude physique des astres qui composent notre système solaire, et la

---

([1]) La liste exposée lors de la séance d'ouverture a été modifiée et complétée : nous l'avons d'ailleurs donnée, dans sa forme définitive, aux pages 20, 21 et 22 ci-dessus.

Photographie céleste, celle qui sert en ce moment, sur tous les points du globe, à dresser la Carte du ciel;

La Microphotographie, qui fait, pour les infiniment petits, ce que les deux précédentes font pour les infiniment grands ou pour les infiniment éloignés;

La Photographie sans objectif, qui donne des images absolument exemptes de déformation;

La Photographie militaire, comprenant la photocartographie, les reconnaissances en ballon, etc.;

La Métrophotographie ou Photogrammétrie, comme on a désigné en Allemagne l'art de lever les plans à l'aide de vues photographiées. Je dois dire, en passant, que la Photogrammétrie et les applications militaires en général ont pris partout, à l'étranger, une importance considérable, en Allemagne, en Italie et en Autriche, en particulier, c'est-à-dire dans les États de cette fameuse Triple-Alliance qui remplace l'ancienne Sainte-Alliance, avec le même objectif devant lequel on essaie de nous faire poser, non sans s'inquiéter toutefois de l'attitude que nous pourrons prendre. Il n'est peut-être pas hors de propos, quand nous nous bornons à souhaiter une simple chaire de Photographie générale, de rappeler qu'il y a, à Berlin, un Institut pour la Photogrammétrie seule.

Revenons à notre Tableau; nous y trouverons encore indiqués les sujets suivants :

Les Appareils panoramiques et les Panoramas photographiques permettant d'embrasser rapidement l'horizon tout entier;

L'Enregistrement des phénomènes naturels par la Photographie, procédés qui soulagent singulièrement les observateurs en fournissant des renseignements continus et quelquefois instantanés que personne ne pourrait s'astreindre à recueillir ou à saisir;

La Photogravure en relief et en creux et la Photochromographie, avec leurs applications à l'art du Livre;

Les Pellicules photographiques et leurs applications aux impressions mécaniques:

Les Procédés usuels de la Photographie et leurs applications;

Enfin, la Photographie des couleurs, cette dernière et brillante découverte de M. Lippmann.

Après cette énumération qui n'est même pas complète, est-il nécessaire d'insister sur ce que ce ne sera pas la matière qui manquera jamais, mais bien plutôt le temps qu'il faudrait lui consacrer. Je m'attends, à présent, à cette observation que les conférenciers portés sur notre liste sont tous des spécialistes et qu'il faudrait, à ce compte, presque autant de chaires que de spécialités (1).

Je ne pense pas qu'il soit utile de donner les motifs qui nous ont engagés à procéder à l'œuvre collective que nous avions en vue, en recourant au principe de la division du travail; ils me semblent évidents, et j'ajoute seulement que c'était une bonne fortune inespérée pour le public qui fréquente le Conservatoire que d'être initié à l'art et à la science de la Photographie, science et art si essentiellement français, par des maîtres qui sont, pour la plupart, les inventeurs des méthodes qu'ils viendront exposer devant lui.

Sans tomber dans aucune espèce d'exagération, sans nous mettre dans le cas d'être accusés de la fantaisie, prêtée plaisamment à un pays voisin, de vouloir un ministère de la Photographie, on peut prévoir et prédire que l'enseignement de tant d'applications importantes suscitées par la découverte de Niepce et de Daguerre exigera plus tard, et en différents endroits, des chaires assez nombreuses. Tenons-nous en toutefois, pour le moment, à celle que demandent la Société francaise et le Cercle de la Librairie de Paris et abordons la terrible troisième objection, la question d'argent.

Il y aurait deux manières de la résoudre : la première, en cherchant un généreux donateur qui remettrait à l'État la

(1) Je ne serais pas surpris non plus que l'on nous accusât de faire de trop nombreuses projections pour rendre nos démonstrations plus attrayantes. Je répondrais alors que nous faisons des conférences en attendant qu'il y ait un cours complet, qui aurait naturellement une allure un peu plus austère. Mais, dans les tous cas, la Photographie qui rend tant de services aux autres, doit peut-être bien avoir le droit d'user elle-même d'un procédé qu'elle a créé.

somme nécessaire à la fondation de la chaire. Il y a d'assez nombreux exemples de ces fondations, plus nombreux, il faut bien en convenir, dans certains pays qu'en France, où il y en a cependant plus qu'on ne le croit généralement; il me serait facile d'en citer plusieurs que je ne soupçonnais pas, moi-même, il y a quelques jours.

Quoi qu'il en soit, nous ne devons pas renoncer à l'espoir de découvrir ce bienfaiteur avant de nous être donné la peine de le chercher. Combien n'y a-t-il pas, aujourd'hui, de personnes ayant acquis une fortune assez considérable dans l'une des industries qui se rattachent à la Photographie ou qui, tenant cette fortune de toute autre source, aiment la Photographie pour les services qu'elle leur a rendus ou pour les jouissances qu'elles lui doivent.

Je viens de parler des personnes que la Photographie a contribué à enrichir, et ceci me conduit à la deuxième manière de résoudre la question d'argent, celle qui consisterait à s'adresser à l'État.

J'aurais tort de chercher à dissimuler que cette solution est hérissée de difficultés dans les circonstances actuelles, mais ce n'est pas une raison pour perdre courage et pour renoncer à faire valoir les motifs si graves qui font souhaiter à une nombreuse et très intéressante catégorie d'industriels la création d'une chaire officielle de Photographie au Conservatoire.

Je suis d'autant plus disposé à conseiller aux autres la ténacité que je suis habitué moi-même à pratiquer cette vertu, les occasions m'en étant incessamment offertes. Heureusement, cette vertu a sa source dans un sentiment qui domine tout, la foi, oui, la foi dans les destinées de ce grand et noble pays, en dépit des fautes et des erreurs dont il a été si souvent la victime. Mon devoir, dans tous les cas, est de ne décourager personne et d'accueillir, de mon mieux, tant de bonnes volontés que j'ai la satisfaction de voir se produire de tous côtés, qui me réconfortent à mon tour, et entretiennent cette foi heureusement partagée par bien d'autres.

Pour en revenir à la chaire de Photographie, j'ai déjà présenté au Conseil de perfectionnement le vœu exprimé par les

deux grandes corporations qui m'ont fait l'honneur de s'adresser à moi et je saisirai toutes les occasions de le soutenir. Je ne désespère pas que le succès des conférences que nous ouvrons aujourd'hui, d'une part, et, d'un autre côté, un examen attentif des intérêts considérables engagés dans les industries auxquelles la Photographie a donné naissance ou qu'elle a rendues prospères, comme celles des produits chimiques, de la fabrication du papier de choix et du carton, l'optique, l'ébénisterie, la verrerie, etc., ne déterminent un courant d'opinion très favorable et peut-être irrésistible.

La presse périodique semble déjà bien disposée en faveur de notre tentative, car j'ai reçu de nombreuses demandes de cartes de journalistes annonçant l'intention de venir assidûment suivre nos conférences. Je ne saurais me dispenser d'ajouter, à ce propos, que je suis très frappé du nombre prodigieux des revues consacrées spécialement à la Photographie et de l'abondante littérature qui éclôt chaque jour en France et à l'Étranger, à ce point qu'on est tenté de se demander s'il existe un autre art qui en ait produit une aussi considérable et en si peu de temps.

Je ne suis pas moins frappé, d'un autre côté, des chiffres d'affaires qui ont été signalés, dès 1878, par le Rapporteur de la classe de la Photographie à l'Exposition universelle de cette année et dont le total atteignait 32 millions de francs pour la France. Le Rapporteur de la même classe à l'Exposition du centenaire de 89 estime que ce chiffre a au moins doublé, et il est impossible de ne pas se représenter aussitôt ce que les patentes et les droits de toute nature rapportent à l'État, qui aurait évidemment intérêt à favoriser encore le développement si rapide de toutes les industries dont il s'agit.

Mais ce point de vue pratique, économique, n'est pas le seul auquel on doive se placer quand on aborde la question de l'opportunité d'un cours public de Photographie, et je serais bien surpris si mon collègue M. Davanne ne vous disait pas tout à l'heure ce qu'il m'a écrit, au commencement de cette année, à savoir que des progrès importants s'accomplissent chaque jour dans les laboratoires publics de Kew, près de Londres, de Vienne et de Berlin où les praticiens trouvent,

toutes les fois qu'ils en ont besoin, les conseils de savants éminents et les ressources qui font défaut dans les laboratoires privés les mieux pourvus.

J'ai sans doute le droit de rappeler que c'est ce qui se passe ici, depuis longtemps, pour la plupart de nos industries; il serait donc tout à fait naturel que la Photographie et ses différentes branches fussent traitées comme les autres.

Il y a là, Messieurs, un sujet de méditation qui prime, de beaucoup, à mon point de vue, les questions d'intérêt purement matériel que je n'ai cependant pas voulu passer sous silence. Notre prééminence, due au génie de quelques-uns de nos compatriotes qui ont créé la Photographie et imaginé un si grand nombre de ses applications les plus importantes, courrait le risque d'être compromise si nous hésitions encore longtemps à faire de légers sacrifices, alors que nos rivaux en ont consenti de très grands dont ils recueillent déjà aussi les fruits.

C'est surtout ce dernier et puissant motif, cet intérêt patriotique qui a déterminé le Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers à s'associer aux efforts des membres de la Société française de Photographie et du Cercle de la Librairie, à leur ouvrir les portes de ce grand établissement dans le but de leur fournir le moyen de soutenir leur thèse devant le public et finalement de convaincre les plus incrédules de la nécessité de fonder en France une chaire de Photographie théorique et technique et un laboratoire public de Photographie.



INVENTION ET APPLICATIONS

DE LA PHOTOGRAPHIE,

CONFÉRENCE DU 22 NOVEMBRE 1891

Par M. A. DAVANNE,

Président du Comité d'administration de la Société française de Photographie.

MESDAMES, MESSIEURS,

En commençant la première des conférences sur la Photographie que M. le colonel Laussedat a organisées cette année au Conservatoire des Arts et Métiers, dont il est le si zélé et si savant directeur, je lui adresse d'abord mes remerciements pour l'honneur qu'il me fait en m'invitant à prendre la parole après lui et aussi les remerciements de toutes les personnes qui se sont adonnées à la culture de ces méthodes photographiques, pour lesquelles il serait nécessaire de créer un cours officiel, car leur ensemble constitue à la fois une science, un art et une industrie, et elles se relient à toutes les branches des connaissances humaines.

Mon rôle doit se borner à esquisser devant vous, à grands traits, les débuts, la marche de la Photographie, les phases qu'elle a traversées avant d'arriver aux développements et aux grandes applications actuels. Ces applications vous seront ensuite expliquées par les hommes éminents qui ont largement contribué à les faire connaître et à les améliorer.

La Photographie complète la trinité de ces merveilleuses

inventions qui ont fait la grandeur de notre siècle et qui ont bouleversé le vieux monde. Mais, tandis que la vapeur et l'électricité représentent les forces les plus puissantes et les plus délicates mises à la disposition de l'homme, la Photographie prend un rôle différent, elle s'adresse à l'intelligence. Ce n'est pas une puissance, c'est une compagne, une associée, une collaboratrice chargée de tout voir, de tout inscrire, avec ce cachet de vérité qui la rend si précieuse pour les recherches scientifiques. De ces trois grandes découvertes, elle seule peut se mêler aux choses de l'art, faire vibrer nos sentiments intimes, nous entraîner vers l'idéal, vers l'affection, vers le charme des souvenirs.

La vapeur et l'électricité, quelle que soit l'importance des services rendus, ne nous donneront jamais les douces émotions que nous pouvons éprouver à feuilleter l'album où se retrouvent les sites parcourus et admirés, les portraits amis, les images des disparus tracées par cette lumière même que reflétaient leurs visages aimés.

Ainsi, qu'ai-je besoin de le répéter après tant d'autres, un rayon lumineux se transforme en un merveilleux crayon et trace une image ineffaçable; tout ce que la lumière nous montre, quelquefois même *l'invisible*, peut être saisi, souvent avec une rapidité qui dépasse l'imagination, et ce résultat féerique est dû à l'invention de la Photographie. Mais quel est l'inventeur?

Pour cette invention, cependant toute moderne, la question se pose comme pour tant d'autres.

Bien rarement en effet, jamais peut-être, une invention ne jaillit d'un coup, complète, du cerveau d'un chercheur, presque toujours elle est précédée, entourée d'une série de remarques, de faits, de découvertes éparses qui ne sont pas l'invention, mais qu'une intelligence saisit et ramène vers un but déterminé et, lorsque le but est nettement défini, puis atteint, même d'une manière encore imparfaite, l'invention est posée, la pratique et l'avenir amèneront les progrès, les perfectionnements et les applications qui peuvent en découler.

Et alors il se produit en quelque sorte deux courants contraires : tandis que la foule acclame comme l'inventeur celui

qui a perfectionné l'invention et la lui présente avec des résultats pratiques, les esprits méticuleux s'en vont scrutant dans le passé tout ce qui, de près ou de loin, semble s'y rattacher, et l'invention se perd alors dans les brumes des siècles écoulés.

La Photographie n'a pas échappé à ce mode général d'appréciation.

Pour la foule, le seul inventeur a été Daguerre, qui, le premier, a présenté des images bien réussies, obtenues à la chambre noire; et pendant plus de dix ans le nom de Daguerre a servi à dénommer tout ce qui avait trait à l'invention nouvelle, c'étaient la Daguerréotypie, les épreuves daguerriennes, le Daguerréotype, etc; et, malgré cet engouement passager, il reste à peine maintenant quelques épreuves d'un procédé aussi oublié que glorifié naguère, cependant très remarquable et dont nous retrouverons les principes dans tous les perfectionnements qui suivirent.

Loin de moi la pensée de rabaisser le mérite de Daguerre; par ses recherches, ses études, ses essais, sur lesquels malheureusement les renseignements nous font défaut, il a reconnu une propriété merveilleuse de l'iodure d'argent, propriété qui s'étend aux autres sels haloïdes de ce métal, peut-être même à beaucoup d'autres composés sensibles à la lumière, c'est l'existence de l'image latente, de cette modification rapide, invisible de la surface sensible, et qui n'apparaît aux yeux surpris que sous l'influence d'agents qui, jusqu'ici, sont toujours des corps réducteurs. Sans la découverte de cette propriété, qui est une des bases de la Photographie, peut-être celle-ci fût-elle restée dans les langes. Daguerre doit être à juste titre considéré, non comme le seul inventeur, mais comme un des inventeurs de la Photographie.

Mais Daguerre avait un prédécesseur devenu son associé, Nicéphore Niepce, qui apporta dans l'association quinze années de travail, d'expériences et d'essais, entre autres l'emploi de la plaque d'argent exposée aux vapeurs d'iode, non pour obtenir la surface sensible qui constitua plus tard la plaque daguerrienne, mais pour augmenter les effets en noircissant les fonds d'une épreuve au bitume de Judée; dès 1814, Niepce, qui a

touché à un grand nombre d'autres inventions, s'était posé le problème de fixer l'image de la chambre noire, c'est-à-dire l'image de la nature, essayant tour à tour toutes les substances sensibles à la lumière alors connues, construisant lui-même les instruments nécessaires, parmi lesquels, disons-le en passant, nous avons retrouvé le principe de quelques inventions et de brevets nouveaux; il put dès 1824 montrer des épreuves encore imparfaites, mais prouvant que le but fixé était atteint.

La publicité donnée aux résultats présentés par Daguerre

Fig. 1.



Épreuve obtenue à la chambre noire par Nicéphore Niepce (1823 ou 1825).
(Reproduction en similigravure, par M. Ch.-G. Petit.)

date seulement de 1839, quinze ans plus tard. Nicéphore Niepce mérite donc, le premier, le titre d'inventeur de la Photographie et nous donnons ici (*fig.* 1) la gravure d'une photographie faite à la chambre noire en 1823 ou 1825 par Nicéphore Niepce; elle nous a été remise par M. Niepce, son petit-fils, et prouve la réalité de l'invention.

A cette même date, Niepce employait aussi le bitume de Judée pour produire des planches gravées à l'aide de la lumière; la reproduction de la gravure du cardinal d'Amboise a été obtenue à cette époque; la planche originale en étain est conservée dans le musée de Chalon-sur-Saône. La *fig.* 2 est une réduction d'après la planche originale.

Ce procédé de Photogravure au bitume de Judée est devenu

Fig. 2.



Reproduction par Nicéphore Niepce d'une gravure du portrait du cardinal d'Amboise. Procédé au bitume de Judée (1824).

(Simiiligravure de M. A. Fernique, d'après une épreuve de la planche originale de Niepce.)

maintenant tout à fait pratique et il est largement employé dans l'industrie du livre.

Cependant des chercheurs d'antériorités voudraient faire remonter plus loin la découverte de la Photographie et l'attribuer

à celui qui, le premier, constata l'action de la lumière sur une surface sensible, mais alors quel est ce premier? Ils oublient que presque tous les corps sont modifiés par la lumière et, si nous poussons logiquement les recherches, nous allons remonter au déluge.

En effet, dès la fin du siècle dernier, de 1780 à 1802, nous retrouvons les essais d'Humphry Davy pour fixer les images du microscope solaire, ceux de Wedgwood, du physicien Charles pour obtenir des silhouettes sur papier au chlorure d'argent, les constatations de Berthollet, de Bergmann, de Harup, de Meyer, d'Hagemann sur les modifications que la lumière fait éprouver à diverses substances, et aussi, en remontant toujours, les études de Berard, de Sennebier, de Scheele, en 1777, sur les propriétés de la lumière et sur l'action des divers rayons colorés du spectre sur le chlorure d'argent, et nous arrivons alors en 1727 au médecin allemand Schulze qui, prenant un flacon sur les parois duquel les sels d'argent ont formé un dépôt, y trouve un décalque fait par la lumière.

Cette expérience nous rappelle celle autrement gracieuse employée par Bayard, le père de celui qui, mort il y a quelques années à l'âge de quatre-vingts ans, pourrait compter aussi comme un des inventeurs de la Photographie, car, avant la divulgation du procédé de Daguerre, il montrait, mais sans donner d'explications, des images obtenues à la chambre noire, dont il reste encore quelques vestiges.

Bayard père, grand amateur de pêches, qu'il cultivait avec amour, signait de son nom celles qu'il prenait plaisir à offrir à ses amis; pour cela, il découpait son monogramme sur du papier, le collait sur la pêche et chargeait le soleil de parfaire sa signature.

Mais, avant Schulze, l'alchimiste Fabricius, en 1565, reconnut que la lune cornée, c'est-à-dire le chlorure d'argent, prend différentes teintes sous l'action lumineuse; avait-il donc inventé la Photographie des couleurs? Pas plus que Nicéphore Niepce qui, cependant, mentionne dans une des lettres dont copie authentique est déposée dans la galerie de Photographie du Conservatoire des Arts et Métiers, qu'il a obtenu sur les épreuves diverses colorations qu'il suppose dues à l'effet des anneaux colorés de Newton.

Mais remontons toujours; Pline, cent ans après Jésus-Christ, Vitruve, cent ans avant, mentionnent que le soleil altère les couleurs. Vitruve recommande en conséquence de placer les tableaux de préférence du côté du nord, et, bien avant lui, les teinturiers phéniciens avaient reconnu que les rayons du soleil rendaient plus éclatante la teinture de la pourpre, et, bien avant eux, les petites maîtresses de tous pays et de tous temps n'ont-elles pas cherché à garantir leur teint des baisers du soleil? Voyez où nous conduit l'envie de faire remonter à d'autres la gloire qui appartient à l'un de nos compatriotes.

Revenons donc à celui qui, le premier, a posé le problème de fixer l'image de la chambre noire, qui l'a résolu, et qui a produit des épreuves dont il reste encore des spécimens, qui du même coup a inventé la Photogravure, si largement utilisée de nos jours.

Associé avec Daguerre en 1829, lui ayant apporté ses travaux antérieurs, Nicéphore Niepce mourut en 1833 avant d'avoir vu son œuvre portée à la connaissance du monde; c'est seulement six ans plus tard, en 1839, que François Arago, dans un rapport des plus élevés, fit connaître à l'Académie des Sciences et à la Chambre des députés l'invention et les procédés des deux associés.

Arago prévoyait déjà les plus grandes applications de la Photographie, mais il exprimait ses regrets de ne pouvoir espérer que jamais elle pût atteindre jusqu'aux recherches célestes. L'expérience actuelle nous montre qu'en prévoyant l'influence de la Photographie sur les sciences et les arts, son esprit si large n'allait pas encore assez loin; toutes ses prévisions, qu'on pouvait alors croire chimériques, sont maintenant dépassées.

A la suite du rapport d'Arago, sur l'avis des Chambres, le gouvernement acheta les procédés de Niepce et de Daguerre moyennant une rente de 10 000^{fr}: 6000^{fr} pour Daguerre, 4000^{fr} pour les héritiers de Niepce; la divulgation en fut faite et l'invention donnée au monde entier.

Quelle belle opération financière, quel beau placement fit la France!

Depuis cette époque la Photographie, sans cesse progres-

sant, fait vivre des milliers de personnes, les sommes qu'elle met en mouvement atteignent de nombreux millions, et, récemment encore, la Société française de Photographie recevait de Moscou, de Brooklyn, New-York, des lettres dans lesquelles on lui disait : « Nous n'oublierons jamais que c'est à la France que nous devons l'invention et la divulgation de la Photographie. »

Le temps court trop vite pour que je puisse m'arrêter à vous décrire, même succinctement, les procédés de Daguerre ; qu'il nous suffise de dire qu'une lame de plaqué d'argent parfaitement polie, exposée quelques instants aux vapeurs d'iode, était assez sensible à la lumière pour qu'en cinq minutes l'image d'une vue bien éclairée au soleil pût être développée par les vapeurs de mercure. C'était un progrès considérable sur la plaque sensible de Niepce qui demandait cinq heures d'exposition, et déjà les résultats acquis étaient fort intéressants, comme on en peut juger par la reproduction gravée (*fig.* 3) d'une vue des Tuileries obtenue sur plaqué d'argent par Daguerre lui-même et appartenant au musée du Conservatoire des Arts et Métiers.

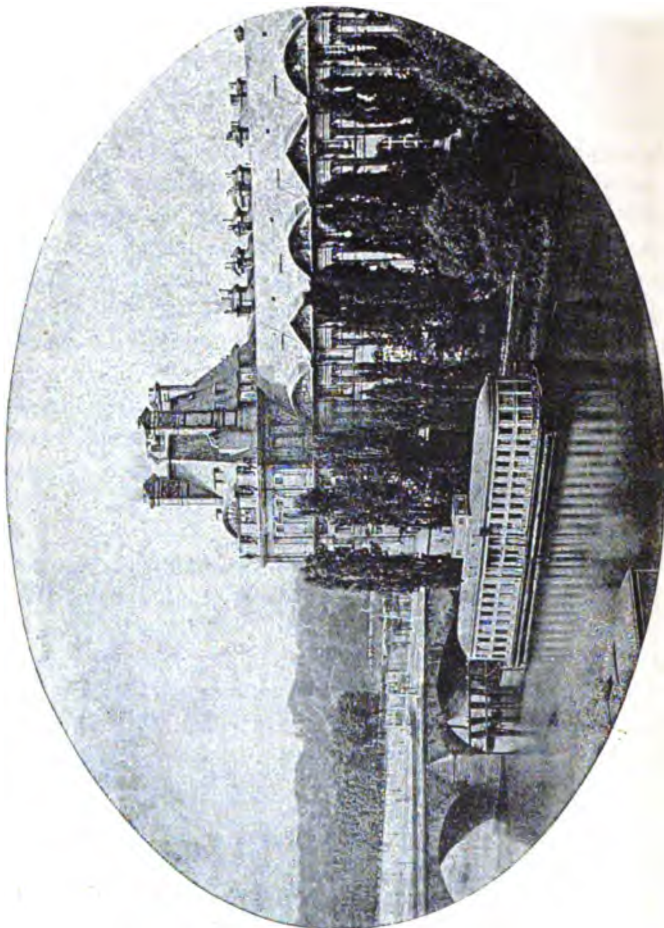
Mais, à côté de l'iode et s'y rattachant par une sorte d'intime parenté, il y avait le brome, découvert en 1826 par Balard. L'essai en était pour ainsi dire tout indiqué, Foucault et M. Fizeau en France, Claudet en Angleterre adjoignirent les vapeurs du brome aux vapeurs de l'iode pour la sensibilisation de la surface argentée, et les temps d'exposition furent réduits environ de cinq minutes à cinq secondes.

Alors le portrait devient facile, les ateliers se montent, la profession de photographe est créée, les épreuves daguerriennes, que le plus léger frottement altérait, sont affermies, rendues plus éclatantes par l'ingénieux procédé de dorure donné par M. Fizeau, et, malgré quelques railleries faciles sur le miroitage des plaques, il fut fait alors, par d'habiles opérateurs, des épreuves très remarquables, même des marines instantanées dont j'ai gardé le souvenir.

Cette première étape de la Photographie, qu'on pourrait appeler la phase daguerrienne, dura environ une dizaine d'années; il semble aujourd'hui que ces procédés sont complète-

ment disparus sans nous rien laisser; nous leur devons, au contraire, les principes sur lesquels sont basés la majeure

Fig. 3.



Épreuve sur plaqué d'argent obtenue par Daguerre.
(Reproduction directe par la similigravure de M. Ch.-G. Petit.)

partie de nos procédés actuels : d'abord la découverte et le développement de l'image latente, l'emploi du bromure d'argent, préparant la merveilleuse sensibilité des préparations usitées aujourd'hui, les virages aux sels d'or, qui donnent à nos épreuves leur richesse de coloration. Mais, malgré toutes

ses qualités, la plaque daguerrienne présentait de graves inconvénients : d'abord elle était unique et, pour obtenir une seconde image, il fallait recommencer toutes les opérations ; la dimension était forcément restreinte par la difficulté du polissage et le prix élevé de la plaque ; l'image enfin était retournée comme celle que l'on voit dans une glace, le portrait se trouvait dérangé dans sa ressemblance, et l'emploi d'un prisme redresseur augmentait sensiblement le temps de pose.

Les procédés de Fox Talbot firent disparaître ces inconvénients.

Ce fut un an seulement après la divulgation des procédés de Daguerre, en septembre 1840, que Fox Talbot livra les siens à la publicité. Depuis 1834, il cherchait à fixer les images de la chambre noire, employant successivement sur papier le chlorure et l'iodure d'argent ; nous pouvons croire qu'aussitôt que le développement de l'image daguerrienne par un réducteur lui fut connu, il entra dans cette voie et fit apparaître ses images sur papier par un réducteur des sels d'argent, l'acide gallique ; seulement l'argent réduit donnant une coloration noire intense, les clairs et les ombres se trouvèrent renversés, le ciel venant noir et les arbres blancs, la figure noire et les habits blancs, juste le contraire du résultat cherché. Mais Fox Talbot ne s'inquiéta pas ; ce qui paraissait un défaut était au contraire une précieuse qualité, car l'épreuve noire dite négative devenait un type qui, par simple superposition sur une autre surface sensible, pouvait fournir un nombre indéfini d'images semblables au modèle.

L'invention, par Talbot, du type négatif a ouvert la voie à tous nos procédés actuels sur papier, sur verre, au collodion, à la gélatine, etc.

Il y a donc trois premiers inventeurs de la Photographie :

1° Nicéphore Niepce, qui voulut et sut fixer l'image de la chambre noire, et qui a obtenu les premières photogravures ;

2° Daguerre, qui découvrit l'image latente, sans laquelle toute la photographie disparaîtrait ;

3° Fox Talbot, qui, en Angleterre, inventa la Photographie sur papier et le type négatif permettant la multiplication in-

définie des images; il fit plus tard d'importants travaux de photogravure.

La Photographie est inventée, la première étape des plaques daguerriennes dure une dizaine d'années et, vers 1849-1850, nous assistons à une évolution nouvelle résultant des travaux de Fox Talbot repris, modifiés, perfectionnés par de nombreux chercheurs.

Blanquart-Évrard fut l'introducteur, en France, des procédés sur papier de F. Talbot, mais il simplifia beaucoup les manipulations et les rendit faciles pour tout le monde. Cependant le papier, toujours grenu, laissait beaucoup à désirer comme support de la couche sensible, et Niepce de Saint-Victor, neveu de Nicéphore, eut l'idée de substituer à la feuille de papier une feuille de verre. La difficulté était d'y faire adhérer les facteurs de la couche sensible. Niepce de Saint-Victor employa l'albumine, et ce procédé permit d'obtenir d'exquises finesses. Malheureusement, il est relativement très lent et d'une exécution si difficile qu'il est resté du domaine exclusif de quelques habiles opérateurs.

L'idée d'étendre sur le verre ou la glace une substance dans laquelle fussent incorporés les agents sensibles fut féconde, et, dès 1849, Legray proposa le collodion, mais sans donner d'indications pratiques; les premières formules réellement applicables furent publiées par Archer et Fry, et la Photographie devint alors abordable pour tous, de nombreux ateliers s'établirent, un peu trop peut-être, mais la facile multiplication des épreuves mit à la mode l'échange amical des images, des cartes de visite, et il fallut toute une série d'années pour arriver à contenter le désir général de faire collection des portraits de parents, d'amis et de célébrités.

La profession de photographe ne tarda pas à être encombrée; je voudrais passer sous silence qu'il se fit alors, dans les sphères scientifiques et ailleurs, une réaction contre cette poussée plus mercantile qu'artistique ou savante, mais il faut bien convenir que le titre de photographe, dans ces années transitoires, n'était pas une recommandation.

Aujourd'hui, nous assistons à une réaction inverse et l'en-

gouement photographique a pénétré dans toutes les classes de la société.

La période photographique du collodion dura environ trente années; dans l'atelier on employait surtout le collodion humide, c'est-à-dire mis en œuvre aussitôt après sa préparation.

Je ne crois pas devoir énumérer les nombreuses formules diverses qui furent préconisées; vous les retrouverez dans tous les traités; il suffira de rappeler qu'une solution de coton-poudre dans l'éther et l'alcool est additionnée d'iodure et de bromure solubles; ce liquide, versé sur une plaque de glace ou de verre bien propre, y laisse par évaporation une mince pellicule qui, aussitôt plongée dans une solution de nitrate d'argent, donne naissance à une couche fine, régulière, continue d'iodure et de bromure d'argent formant la surface sensible : exposée immédiatement pendant quelques secondes, elle reçoit une impression invisible que l'on fait apparaître en la couvrant avec une solution de protosulfate de fer acidulé. La sensibilité de la plaque est ensuite anéantie par un fixage à l'hyposulfite de soude, ainsi que l'on procède toutes les fois qu'en Photographie, on opère avec des composés argentiques.

Pendant que ce genre de Photographie, que j'appellerai surtout professionnelle, utilisait largement dans les ateliers les recettes du collodion humide, les savants, les artistes, les amateurs regrettaient d'être obligés d'employer immédiatement sur place les procédés délicats dont le nitrate d'argent imprimait sur les mains de l'exécutant la tache accusatrice du photographe; jamais les dames, dans ces conditions, n'eussent voulu opérer elles-mêmes.

De nombreux essais et de nombreuses réussites permirent bientôt d'utiliser longtemps après leur préparation les couches sensibles à sec.

L'amateur, l'artiste, le savant, purent garder sous la main ou emporter en voyage des plaques toujours prêtes à servir.

Le principe des préparations sèches est le même pour toutes :

1° Incorporer à la couche de collodion une substance pouvant lui conserver un peu de perméabilité;

2° Éliminer toutes traces de nitrate d'argent qui empêcherait la conservation.

Les lavages soignés éliminaient le nitrate d'argent et les agents de perméabilité furent très nombreux. Nous eûmes les collodions à l'albumine de Taupenot; ceux au tanin du major Russell, ceux à la dextrine, au sucre, au miel, au thé, au café, à la gomme, à la résine, etc.

Mais, par le fait de l'élimination du nitrate d'argent, la sensibilité était très atténuée et, pour la reconquérir, quelques opérateurs, en tête desquels il faut citer le major Russell, augmentèrent de plus en plus les proportions de bromure sur celles d'iodure jusqu'à ce que ce dernier fût complètement éliminé.

Puis, quelques opérateurs, parmi lesquels nous citerons Gaudin, M. Chardon, évitèrent certaines difficultés du bain d'argent, en préparant de toutes pièces dans le collodion une émulsion de bromure d'argent.

Nous marchions ainsi lentement, par des essais qui prirent une longue suite d'années, vers l'emploi d'une substance très perméable, quoique insoluble dans l'eau froide, la gélatine dans laquelle on pouvait incorporer, émulsionner le bromure d'argent, c'est-à-dire vers le procédé qui a remplacé tous les autres et auquel on a donné le nom de gélatinobromure d'argent; il marque la troisième évolution de la Photographie, la phase dans laquelle nous sommes aujourd'hui.

Dès 1871, une série d'opérateurs anglais, Maddox, King, Burgess, Kennett, Wraten et Wright suppriment le collodion, le remplacent par la gélatine qui avait déjà été proposée quinze à vingt ans auparavant par Poitevin, mais sans succès. Toutefois le procédé à la gélatine présentait encore si peu d'avantages sur les collodions secs, que de 1871 à 1878 il ne les remplaça pas; mais, en 1878, Bennett, en Angleterre, découvre que l'émulsion à la gélatine peut acquérir une sensibilité inattendue par la maturation, c'est-à-dire en laissant le mélange vieillir à l'état humide pendant quelques jours; le même effet se produit plus rapidement par l'action des alcalis ou par celle de la chaleur. En outre, les recherches se portent sur les révé-

lateurs, on en trouve de nouveaux de plus en plus actifs, l'oxalate de fer d'abord et parallèlement l'acide pyrogallique additionné de sulfite de soude et d'un alcalin, puis arrivent l'hydroquinone, l'iconogène et, récemment, le paramidophénol conseillé par MM. Lumière et qui, paraît-il, serait le plus actif de tous.

Les procédés photographiques arrivent ainsi à une sensibilité merveilleuse, il est possible d'enregistrer les mouvements les plus rapides, les courses de chevaux, le vol des oiseaux, les trains à grande vitesse, et après avoir calculé les temps de pose en prenant comme unité la minute, puis la seconde, puis le $\frac{1}{100}$ de seconde, nous sommes actuellement dans l'obligation de prendre le $\frac{1}{1000}$ de seconde, et voici que cette unité est encore trop forte. Dans un rapport, je disais l'année dernière : « La sensibilité est telle que M. le Dr Marey arrive à obtenir une épreuve en $\frac{1}{5000}$ de seconde. Or, si nous voulons comprendre ce que peut être le $\frac{1}{5000}$ d'une seconde, nous dirons que la proportion est la même qu'entre une seconde et une heure et demie. » Aujourd'hui le Dr Marey, dans des conditions spéciales, obtient des images en $\frac{1}{25000}$, la proportion est celle d'une seconde à sept heures ; il est parvenu à ce qu'il me disait un jour pendant que je restais incrédule : « Il faut que la Photographie me donne les vibrations d'aile d'un insecte. » Mais, je dois laisser à M. Demenÿ, le très zélé et très habile préparateur de M. Marey, le plaisir de vous expliquer ces incroyables résultats.

Les conséquences de ces découvertes et de ces progrès ne se firent pas attendre ; les plaques pouvant être préparées à l'avance, l'opérateur fut débarrassé du souci de la préparation, l'industrie s'en empara à son grand profit, de véritables usines se fondèrent en France, en Belgique, en Angleterre, en Allemagne ; elles fabriquent des milliers de plaques par jour ; en France seulement, d'après quelques indications qui n'ont rien d'authentique, on peut évaluer qu'il se fait environ 20000 plaques par jour ; mais il se pourrait que ce chiffre fût bien au-dessous de la vérité, et maintenant, dans toutes les villes un peu importantes, on trouve des glaces toutes préparées, coupées aux formats usuels, des produits chimiques pour les

développer et les terminer, et même, dans les bons hôtels, des ateliers tout agencés sont à la disposition des voyageurs et des voyageuses.

Car les dames et les demoiselles, sûres désormais de ne plus gâter leurs mains, ne sont pas les moins ardentes à se promener bravement, le petit appareil à la main, et à saisir les scènes ou les sites qui leur offrent quelque intérêt.

Les savants voyageurs, géologues, botanistes, naturalistes, épigraphistes, ethnologistes, archéologues, missionnaires scientifiques, s'inquiètent des moyens d'augmenter par l'épreuve photographique les documents qu'ils désirent rapporter; au départ, beaucoup d'entre eux vont acheter le matériel; mais, avouons-le avec regret, la plupart oublient d'apprendre à s'en servir, aussi il y a de nombreux mécomptes, presque toujours rejetés sur les défauts d'un excellent instrument dont on n'a pas su tirer parti; on sait cependant qu'il faut du soin, de la patience et du travail, pour connaître l'usage du microscope ou du télescope, pourquoi penser que ce temps et ce travail sont inutiles lorsqu'il s'agit de l'usage de la chambre noire et des opérations nécessaires pour la création d'un cliché.

Nous n'avons rien dit des méthodes employées pour obtenir l'épreuve positive; je doute que le temps me permette d'aborder ce sujet si intéressant. Le procédé classique, celui qui est encore le plus usité, consiste à employer le papier albuminé au chlorure d'argent; il donne de très beaux résultats, mais les épreuves obtenues sont sujettes à une rapide altération.

Dès 1855, Poitevin, par ses recherches sur les propriétés de la gélatine bichromatée, ouvrit une voie nouvelle qui permit de faire des épreuves avec une matière colorante quelconque, d'obtenir avec les presses qui servent au tirage des gravures et des lithographies des photographies imprimées aux encres grasses, par conséquent inaltérables (*fig.* 4). Dans une autre voie, Motileff, puis Pellet, Colas utilisèrent les propriétés des sels de fer additionnés de matières organiques, surtout pour les reproductions en bleu et en noir des dessins, des cartes et des plans.

Actuellement, la Photographie est en possession de moyens très variés pour obtenir des images positives de toutes couleurs et par toutes les méthodes employées dans les arts graphiques.

Ce sujet, d'ailleurs, sera traité *in extenso* et avec plus

Fig. 4.



Photogravure en relief, par Poitevin.

d'autorité que par moi, dans les conférences qui suivront la lecture que j'ai l'honneur de faire devant vous.

Résumons : la Photographie nous présente trois périodes bien tranchées, bien qu'elles se soient suivies sans interruption et fondues l'une dans l'autre sans secousse, chacune d'elles

ayant été amenée par les découvertes et les travaux de la phase précédente.

La première période est celle de la plaque daguerrienne dont l'apparition étonne, suscite de nombreuses et savantes recherches; toutefois ce procédé n'a que des applications très limitées et il n'apporte qu'un faible concours aux diverses branches des connaissances humaines.

La seconde période est celle du collodion humide ou sec; elle commence par le procédé sur papier de Talbot, qui apporte l'emploi du type négatif ou cliché avec lequel on peut tirer un nombre illimité d'épreuves positives. La profession de photographe prend alors une extension beaucoup plus large, surtout par la facilité toute nouvelle pour les masses d'obtenir plusieurs exemplaires d'un portrait désiré.

Avec le collodion humide, certaines applications de la Photographie commencent à se dessiner : telles sont les reproductions de cartes, de plans, de gravures, celles des tableaux des grands maîtres, non plus interprétés par le talent personnel du graveur, mais rendus avec le faire particulier de l'artiste lui-même.

Dès lors la Photographie n'est plus renfermée dans les limites d'une spécialité, elle s'étend et se relie aux autres branches de l'activité humaine, elle apporte son concours à l'industrie, aux arts et aux sciences.

Les regrets exprimés par François Arago sont alors effacés, l'Astronomie commence à utiliser les facilités que lui offre la Photographie, et des épreuves très remarquables faites sur la Lune, sur le Soleil pour en constater l'intime texture, la position des taches et leur structure, montrent les services que peut rendre cette méthode d'observation; les sciences les plus élevées et les beaux-arts doivent commencer à compter la Photographie comme leur collaboratrice.

Mais c'est surtout avec la troisième période, celle du gélatinobromure d'argent, actuellement en usage, que nous voyons se développer les applications des procédés photographiques; la rapidité d'impression est plus grande qu'on eût jamais pu l'espérer, la conservation de la sensibilité des glaces dépasse quatre années, l'emploi ne demande qu'un peu d'expérience,

tout sujet mobile ou immobile peut être copié par la Photographie avec un cachet de vérité, d'authenticité, qui est une des plus précieuses qualités de cette méthode.

Nous citerons seulement quelques-unes de ces applications. Je n'ose pas entamer le chapitre relatif aux beaux-arts. C'est une question trop délicate, un sujet de controverse sans cesse renouvelé, de discussions interminables dans lesquelles les plus grands artistes se rangent du côté de la Photographie et reconnaissent que, par le choix du modèle, de l'éclairage, de la position, des proportions d'ensemble, de la netteté raisonnée des diverses parties et par l'exécution, l'œuvre photographique est une œuvre artistique de valeur plus ou moins grande; d'autres, pensant probablement qu'une œuvre est surtout artistique parce qu'elle résulte d'une exécution manuelle, se refusent à accepter comme œuvre d'art une œuvre bien conçue que la main n'a pas exécutée. Toutefois, nous nous bornerons à constater que, dans les beaux-arts, il s'est produit une évolution remplaçant la convention par la vérité, et que la Photographie est loin d'y être étrangère; actuellement, nous ne craignons pas d'affirmer qu'ouvertement ou secrètement presque tous les artistes lui demandent ses conseils : les uns franchement, les autres sous le nom de documents.

La Photographie apporte sa collaboration dans toutes les conditions où le dessin, la gravure, la lithographie étaient autrefois nécessaires. Actuellement, presque toutes les illustrations sont exécutées par l'intermédiaire de la Photographie. Elle sert pour toutes les constatations, représentations, modèles de tous genres; en outre, elle est par elle-même une industrie devenue considérable : les millions de plaques qu'elle produit nécessitent, pour leur emploi, des chambres noires, des objectifs, des produits chimiques, des verreries spéciales. Ce sont des industries nouvelles créées et alimentées par la Photographie, et des milliers de personnes y trouvent leurs moyens d'existence.

A côté de ces questions artistiques et industrielles, sur l'importance desquelles nous n'avons pas à insister, il en est une plus élevée, celle qui touche aux sciences, et l'on ne saurait

donner trop d'encouragements à tout moyen nouveau qui peut leur apporter son concours et faciliter de nouvelles découvertes.

Fig. 5.



Photographie d'une région lunaire (environs d'Archimède), par MM. Henry.

(Héliogravure Dujardin sans retouche.)

La Science est la recherche de la vérité, la Photographie en est l'expression, et, suivant la définition si juste de l'éminent directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, M. Janssen : « La surface photographique est la rétine du savant, » bien supérieure à celle de l'œil, car elle voit mieux et conserve l'image des choses vues.

Ainsi, en Astronomie, on n'hésite plus à faire appel à la Photographie pour l'étude des nébuleuses, comme pour celle des grands astres; c'est elle qui est chargée de la confection de la Carte du ciel, décidée dans le Congrès international tenu il y a quelques années à Paris, sur l'initiative de M. l'amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire.

Déjà cet immense travail est commencé par les soins de MM. Henry frères.

Dans ces recherches, la Photographie va plus loin que toutes les prévisions, car notre œil n'accumule pas l'action lumineuse; il ne verra pas en une minute ce qu'il n'a pu discerner en quelques secondes; la surface sensible accumule, au contraire, l'effet des rayons lumineux, l'impression qu'on n'a pu obtenir en une minute peut l'être en une heure, en deux heures, en une nuit, et, avec la perfection de mouvement des lunettes et des télescopes, peut-être pourra-t-on aller plus loin. Alors le développement montre et montrera des astres qui échappent aux plus forts instruments, non seulement à cause de leur dimension, mais peut-être à cause de leur faible intensité lumineuse.

La Photographie n'est pas moins utile pour la recherche des infiniment petits : les travaux si importants du micrographe, qui intéressent l'hygiène autant que la science pure, prennent maintenant une certitude de vérité qu'on n'osait reconnaître aux dessins faits avec les plus grands soins.

Depuis longtemps, M. le colonel Laussedat a fait connaître tout le parti que l'on pouvait tirer de l'épreuve prise à la chambre noire pour le lever des plans, par conséquent pour la confection des cartes, et la Photographie vient ainsi apporter sa précision, sa rapidité d'exécution pour contribuer à la défense de la patrie. Une conférence spéciale, que M. le colonel Laussedat veut bien faire sur ce sujet, vous initiera aux méthodes et aux appareils employés.

Grâce à ces études, auxquelles viennent s'adjoindre les vues prises de la nacelle d'un ballon qui, dans des conditions bien déterminées, sont de véritables plans, grâce aux facilités données pour agrandir, réduire, modifier les cartes existantes, en créer de nouvelles par les procédés de Photographie et de

Photogravure, ainsi que vous l'expliquera M. le commandant Fribourg, les collections de cartes peuvent toujours être mises à jour et complétées, et il est des pays qui, utilisant ces procédés, ont su rapidement terminer les plans de leurs frontières.

La Médecine et la Chirurgie ont demandé que la Photographie soit installée dans les hôpitaux et elle est employée pour constater une foule de cas pathologiques, particulièrement pour l'étude des accidents nerveux, comme vous l'expliquera M. Londe, plus spécialement chargé de ce service à la Salpêtrière, sous la direction du Dr Charcot. M. le Dr Marey, de l'Institut, utilise la merveilleuse rapidité de l'impression sur la plaque de gélatinobromure d'argent pour étudier, non les mouvements apparents, mais les mouvements réels de l'homme et des animaux, les décomposer, les expliquer, et, quand on voit l'analyse photographique de toutes les positions de l'aile de l'oiseau, on n'ose dire tout ce qu'il est pourtant permis d'espérer.

Dans toutes ces recherches la Photographie apporte sa modeste part de collaboration; chaque progrès qu'elle fera pour elle-même sera un progrès pour les sciences auxquelles elle vient s'associer, et M. le colonel Laussedat, en réclamant la création d'un cours public de Photographie, a la conviction qu'il continue à marcher vers le but qu'il poursuit avec tant de dévouement: répondre aux progrès passés par les progrès futurs.

On objecte en vain que la Photographie est devenue si facile que tout le monde sait en tirer parti, mais est-ce que le plus simple paysan ne sait pas semer et récolter le blé. Que de science cependant pour le faire le plus utilement possible, et quels services rendent les cours agronomiques !

Avec le concours de la Photographie :

Les artistes peuvent maintenant connaître plus exactement les poses de leurs sujets, les mouvements qui les animent, et se rapprocher ainsi davantage de la vérité.

Les illustrations sont plus nombreuses et plus exactes, les livres plus compréhensibles et plus attrayants.

L'astronome et le micrographe pénètrent plus loin dans les mystères insondables de l'infini.

La Médecine, l'Hygiène, la Pathologie améliorent les conditions de la vie humaine.

La confection, la multiplication facile des cartes, l'étude de la marche et des effets des projectiles apportent leur appoint à la défense de la patrie.

La Photographie, sans quitter son rôle de modeste collaboratrice, oubliant les dédains passés, peut donc relever fièrement la tête, penser qu'elle aussi a contribué pour sa part aux progrès de l'humanité et qu'elle y contribuera plus largement encore si, par les cours qu'elle réclame, elle peut provoquer des études plus approfondies.



ÉTUDES

SUR L'ALUMINIUM,

Par M. LE VERRIER,
Ingénieur en Chef des Mines.

AVANT-PROPOS.

La métallurgie de l'aluminium, les applications de ce métal dans l'industrie sont des questions essentiellement à l'ordre du jour, depuis que les procédés d'extraction se sont transformés de manière à abaisser son prix à moins du dixième de ce qu'il était jadis. Ces questions ont fait l'objet d'un nombre considérable d'articles et d'ouvrages. Bien des opinions souvent hasardeuses et controversées ont été émises soit sur le principe et la valeur des nombreux procédés appliqués ou proposés pour l'extraction de l'aluminium, soit sur les propriétés encore mal connues de ce métal et de ses alliages.

Il m'a semblé intéressant de chercher à coordonner les documents qu'on possède sur ce sujet et d'indiquer, sous toutes réserves, mon opinion sur les points douteux. Je dis « sous toutes réserves », car l'expérience prouve qu'il est dangereux de vouloir être prophète en matière industrielle. On pourrait citer bien des cas où l'avenir a démenti les prévisions formulées par des hommes éminents.

Ces études comprendront trois parties : 1° Extraction de l'aluminium; 2° Propriétés de l'aluminium et de ses alliages; 3° Applications industrielles.

Je donne plus loin la liste des principaux documents dont j'ai eu connaissance. J'ai fait en outre des emprunts importants à un ouvrage spécial que M. Minet doit faire paraître prochainement et dont il a bien voulu me communiquer les feuilles. Je lui en adresse ici tous mes remerciements.

PREMIÈRE PARTIE.

MÉTALLURGIE DE L'ALUMINIUM.

MATIÈRES PREMIÈRES.

L'aluminium est très répandu dans la nature, car il se trouve dans toutes les argiles, et dans toutes les roches feldspathiques. Mais les procédés d'extraction actuels ne permettent pas encore de traiter ces substances communes, où l'alumine est combinée à de grandes quantités de silice et d'oxyde de fer. Il faut opérer sur de l'alumine à peu près pure. Aussi les terres très riches en alumine, les bauxites restent jusqu'à présent les seuls véritables minerais de l'aluminium.

Le corindon (alumine anhydre cristallisée) a été employé dans quelques-uns des premiers essais en Amérique. Ce serait un minerai parfait, mais il est trop rare pour avoir une importance industrielle.

La bauxite se rencontre en poches dans les terrains crétacés dans beaucoup de pays. Les gisements abondent dans le midi de la France.

Elle paraît s'y être déposée à une époque géologique comprise entre l'urgonien (sommet du néocomien) et le cénomanien. Elle se rencontre le plus souvent au-dessus du calcaire urgonien, quelquefois sur les terrains jurassiques quand l'urgonien manque; elle est recouverte par les couches crétacées supérieures ou par le tertiaire. En Provence, ses gisements

s'alignent de préférence le long des axes des grands plis synclinaux.

On peut distinguer deux variétés : l'une rouge, riche en oxyde de fer, est une sorte d'aluminate hydraté, et lorsqu'elle est bien triée, elle contient fort peu de silice : ce corps ne s'y trouve guère qu'à l'état de mélange, sous forme d'argile. On trouve des bauxites qui ont moins de 1 pour 100 de silice, mais la teneur en peroxyde de fer y atteint quelquefois 15 ou 20 pour 100. Les bauxites blanches sont au contraire silicatées ; la teneur en silice peut atteindre jusqu'à 20 pour 100, mais la teneur en fer est très faible.

L'extraction de la bauxite est peu coûteuse et les droits de carrière sont peu élevés. Mais la matière a besoin d'un triage soigné pour choisir les parties riches. On obtient couramment par le triage des bauxites à 4 pour 100 de peroxyde de fer et à 15 pour 100 de silice. Les bauxites à 60 ou 70 pour 100 d'alumine se vendent environ 20^{fr} la tonne. L'essai de ces matières peut se faire assez simplement; en faisant bouillir avec de l'acide sulfurique, on sépare la silice insoluble : le liquide contient l'alumine et le fer; on dose ce dernier en titrant par le permanganate. L'eau est déterminée par calcination et l'alumine évaluée par différence.

Ces minerais ne peuvent s'employer directement pour la fabrication de l'aluminium pur. L'alumine artificielle, extraite de la bauxite en la traitant par les alcalis, coûte de $0^{fr},50$ à 1^{fr} le kilogramme, suivant les localités et suivant le degré de pureté.

L'alumine pure, anhydre, contient 53 pour 100 d'aluminium. Les bauxites ordinaires en contiennent 30 à 35 pour 100.

Le sulfate d'alumine qu'on prépare en traitant les bauxites par l'acide sulfurique peut s'employer aussi dans la métallurgie de l'aluminium. On l'obtient à peu près exempt de fer et de silice, mais ce sel, qui cristallise avec beaucoup d'eau, ne contient que 15 pour 100 d'alumine et coûte de $0^{fr},10$ à $0^{fr},15$ le kilogramme.

La cryolithe est un fluorure double d'aluminium et de sodium ($Al^2 Fl^3, 3 Na Fl$), contenant 12 à 13 pour 100 d'aluminium. Ce minéral blanc, très fusible, se trouve en filons puissants dans les roches anciennes au Groënland.

Autrefois, on s'en servait comme fondant, mais on ne cherchait pas à réduire l'aluminium qu'elle contient : cette réduction ne peut se faire sans dégagements de gaz fluorés qui attaquent les appareils.

Aujourd'hui, les procédés nouveaux utilisent presque tous la cryolithe qui peut être considérée comme un véritable minerai. Néanmoins, elle intervient surtout comme intermédiaire et joue plutôt le rôle de source de fluor, car l'alumine est difficile à réduire et l'on fait presque toujours passer le métal par l'état de chlorure ou de fluorure. Ce minerai coûte cher à cause des frais de transport : il revient à $0^{fr},50$ ou $0^{fr},60$ le kilogramme en Angleterre, à plus de 1^{fr} en France.

L'unité d'aluminium y serait donc beaucoup plus chère que dans les autres matières premières.

Aujourd'hui on remplace souvent la cryolithe par du fluorure artificiel.

Fabrication des produits alumineux.

On n'est pas encore arrivé à employer couramment la bauxite naturelle à l'extraction de l'aluminium : c'est presque toujours l'alumine artificielle, quelquefois le sulfate, qui servent de matière première dans cette métallurgie. La fabrication de ces produits s'est surtout développée en Allemagne, bien que la bauxite dont on les extrait y soit importée du midi de la France.

Traitement à la soude. — Le procédé ordinairement employé pour extraire l'alumine est l'attaque par les alcalis.

Si l'on calcine au rouge vif la bauxite avec la moitié environ de son poids de carbonate de soude, l'alumine est attaquée sans être complètement fondue. La masse pâteuse, reprise par l'eau, laisse dissoudre de l'aluminate de soude ; l'oxyde de fer reste insoluble, ainsi que la silice à l'état de silico-aluminate. On est obligé de traiter des bauxites riches en alumine pour ne pas en perdre trop sous cette forme. Pour bien dis-

soudre l'alumine, on est obligé d'employer un excès de soude, et souvent on l'ajoute en poids égal à celui de la bauxite.

La dissolution d'aluminate pure est précipitée par un courant d'acide carbonique venant de la calcination du calcaire dans un four à cuve. L'acide carbonique déplace l'alumine et régénère du carbonate de soude.

Ce procédé classique n'élimine pas très bien le fer, qui passe en partie à l'état de ferrate. Les pertes en alumine non dissoute pendant le lessivage sont parfois considérables.

Traitement au sulfate. — Depuis longtemps on a songé à remplacer le carbonate par un mélange de sulfate et de charbon. La fabrication est alors plus économique, et quand elle est bien conduite, le fer se réduit et s'élimine à l'état de sulfure. Toutefois plusieurs difficultés de détail ont empêché ce procédé de devenir pratique. Il a été récemment repris et perfectionné par M. Laur.

Procédé Laur. — Les principales conditions nécessaires pour obtenir des séparations nettes sont : 1° un dosage soigné des différents corps qui interviennent dans la réaction ; 2° l'addition d'une certaine quantité de carbonate de soude libre; 3° un lessivage rapide à chaud et sans excès d'eau.

D'après M. Laur, il y a avantage à employer des bauxites relativement ferrugineuses (20 à 25 pour 100 de peroxyde de fer, pour 60 pour 100 d'alumine) : c'est en effet l'action combinée du fer réduit et du charbon qui décompose le sulfate de soude : ce réactif doit être dans la proportion de deux équivalents pour un de peroxyde de fer. Tout le fer passe alors à l'état de sulfure; la soude se combine avec l'alumine à l'état d'aluminate mono-sodique, Al^2O^3NaO : — c'est-à-dire que chaque équivalent de sulfate de soude peut attaquer trois équivalents d'alumine. Mais cet aluminate n'est stable et soluble dans l'eau qu'en présence d'un excès d'alcali. Cet excès est également nécessaire pour que le sulfure de fer soit bien insoluble; on ajoute donc du carbonate de soude de manière à attaquer le reste de l'alumine et à former un aluminate plus basique, $2Al^2O^33NaO$. Pour une bauxite de la composition

indiquée, il faudra environ 66 pour 100 de sulfate de soude et 16 de carbonate.

Le traitement comprend trois parties principales : la calcination, le lessivage, et la précipitation de l'alumine.

1° La bauxite mélangée avec du charbon et du sulfate de soude en proportion convenable est arrosée avec les lessives de carbonate de soude provenant des opérations précédentes : ce mélange est évaporé, puis desséché dans des compartiments chauffés par les flammes perdues du four de calcination. On le porte ensuite au rouge dans ce four qui est à réverbère, avec une sole en bauxite damée.

2° La charge calcinée est lessivée à chaud et sous pression, de manière à mieux dissoudre l'aluminate et à obtenir des liqueurs concentrées. L'opération se fait dans un cylindre autoclave, agité d'un mouvement de rotation et contenant des balles métalliques pour broyer les matières (*Pl. I*). On y injecte de la vapeur à 5 ou 6 atmosphères : la température est d'environ 150°.

Ce cylindre porte deux trous d'homme : l'un sert au chargement, l'autre, garni de toiles métalliques, sert à la filtration. Quand la charge a été suffisamment triturée, on arrête le cylindre en plaçant cet orifice en bas, on y visse un robinet, et la vapeur agissant comme dans un monte-jus refoule la lessive dans les bacs à carbonatation.

On opère un second lessivage avec de l'eau pure, pour épuiser le précipité, on obtient alors une lessive faible qui servira à dissoudre la charge suivante.

Les résidus de sulfure desséchés peuvent être grillés ou utilisés pour faire du sulfate de fer.

3° La dissolution d'aluminate concentrée, après refroidissement, est soumise à une carbonatation méthodique : elle passe successivement par plusieurs bacs fermés, disposés en cascade, dans lesquels circule en sens inverse un courant d'acide carbonique.

Le précipité est enfin recueilli, essoré, desséché ; la dissolution de carbonate est employée en partie au traitement ultérieur : on fait cristalliser le reste.

Ce procédé paraît donner de l'alumine très pure. Elle se vend actuellement 28fr les 100kg et contient environ 60 pour 100 d'alumine anhydre.

Précipitation par la méthode Baeyer. — M. Baeyer a fait connaître une réaction intéressante qui pourrait servir à améliorer ces procédés. Si l'on agite une dissolution d'aluminate avec de l'alumine hydratée récemment précipitée, ce corps, par une sorte d'action de présence, détermine une décomposition lente et spontanée du sel. La plus grande partie de l'alumine se précipite. Au bout d'un temps assez long (4 ou 5 jours), il ne reste plus en dissolution qu'un équivalent d'alumine pour six de soude : la décomposition ne peut être poussée plus loin.

On pourrait donc supprimer l'emploi de l'acide carbonique : on n'aurait besoin de ce gaz que pour mettre la réaction en train en précipitant une première fois un peu d'alumine.

Les eaux mères contiennent dans ce cas la soude caustique, au lieu de la contenir à l'état de carbonate. Elles peuvent servir au traitement de nouvelles quantités de bauxite, la soude caustique attaquant l'argile bien plus facilement que le carbonate. D'après les expériences de Sainte-Claire Deville, il ne serait même pas nécessaire d'opérer par fusion : une dissolution concentrée sirupeuse, de soude caustique, attaquerait l'argile à l'ébullition.

Il reste à savoir si la lenteur de la précipitation de l'alumine par le procédé Baeyer ne deviendrait pas un inconvénient grave au point de vue industriel.

Extraction de l'alumine de l'alun. — Le procédé Webster qui a été appliqué en Angleterre, repose sur un principe tout différent. On extrait l'alumine de l'alun ordinaire, par calcination. On commence par chauffer l'alun mélangé de poix ou de goudron; puis on lave avec de l'acide chlorhydrique faible, qui dissout les sulfures formés. (Ce premier traitement a sans doute pour but d'enlever surtout le fer à l'état de sulfure.) Le résidu est mélangé avec du charbon pilé, et calciné au rouge vif dans une cornue où arrive un courant d'air et de

vapeur d'eau : la vapeur facilite la décomposition complète du sulfate d'alumine et l'entraînement des gaz sulfureux; l'air empêche le sulfate de potasse de se réduire. On sépare enfin ce sulfate de l'alumine par lessivage.

Fabrication du sulfate. — Le sulfate d'alumine se prépare en attaquant les bauxites peu ferrugineuses par l'acide sulfurique à 50° Baumé; on peut attaquer de la même manière le kaolin ou l'argile.

A Ampsin, on a fabriqué du sulfate avec les gaz chargés d'acide sulfureux provenant du grillage de la blende : ces gaz étaient absorbés dans des tas de schistes alumineux, résidus d'une ancienne fabrique d'alun. Il semble donc qu'on pourrait, dans certains cas, remplacer en partie l'emploi de l'acide sulfurique par celui de l'acide sulfureux, qui serait plus économique.

Il est difficile d'enlever au sulfate d'alumine le fer qu'il contient souvent en proportions sensibles ([1]).

Élimination du fer. — On pratique, je crois, dans une usine du Midi, un procédé fondé sur la réaction suivante : si l'on fait digérer avec de l'alumine gélatineuse une dissolution de sulfate neutre, dans laquelle le fer a été appelé à l'état de peroxyde, l'alumine agit comme une base plus forte que l'oxyde de fer et le précipite peu à peu en se substituant à lui.

Je ne sais si l'on peut, par ce moyen, éliminer complètement le fer; la réaction doit être lente et incomplète, le précipité difficile à laver : il peut retenir de l'alumine à l'état de sous-sulfate peu soluble. La réussite ne doit être possible que grâce à des tours de main spéciaux.

Si l'on savait éliminer pratiquement le fer, le sulfate d'alumine pourrait servir d'intermédiaire pour extraire l'alumine des bauxites siliceuses. L'attaque par l'acide sulfurique est évidemment le meilleur moyen de séparer l'alumine de la silice : elle ne saurait, *a priori*, être plus coûteuse que l'emploi du carbonate ou du sulfate de soude. L'alumine s'obtiendrait

([1]) On peut le précipiter par le prussiate de potasse, ce qui doit être assez coûteux.

facilement par la calcination de son sulfate, et l'acide sulfureux dégagé dans cette dernière opération pourrait trouver des applications. On a vu plus haut que, dans le procédé Webster, on extrayait l'alumine par calcination de l'alun : il serait sans doute moins coûteux d'appliquer le même traitement au sulfate d'alumine.

Nous verrons plus loin qu'il pourrait y avoir intérêt, pour préparer de l'aluminium pur, à avoir plutôt des alumines exemptes de silice que privées de fer, parce que ce dernier élément est moins difficile à séparer du métal. Je pense donc que la fabrication de l'alumine, en passant par l'intermédiaire du sulfate, vaudrait la peine d'être étudiée.

PROCÉDÉS D'EXTRACTION DE L'ALUMINIUM.

La métallurgie de l'aluminium a été fondée en France, il y a trente-cinq ans, à la suite des beaux travaux de Sainte-Claire Deville. Après avoir excité de grandes espérances, elle y est restée longtemps stationnaire; la production annuelle de l'usine de Salindres ne dépassait guère 2400^{kg} par an, et le métal était vendu plus de 100^{fr} le kilogramme.

En Allemagne et en Angleterre, où les industries chimiques se trouvent dans des conditions économiques plus favorables, les anciens procédés ont reçu depuis quelques années des améliorations notables et de véritables transformations.

Toutefois, c'est l'apparition d'un genre de procédés tout nouveau, la réduction par l'électricité, qui a appelé l'attention sur ce métal. Les premiers résultats industriels ont été obtenus en Amérique par le procédé Cowles; ils ont excité, comme l'avait fait autrefois la découverte de Deville, un enthousiasme bruyant et des espérances sans doute exagérées. Cependant, le prix de l'aluminium a baissé dans des proportions considérables; il paraît devoir descendre au-dessous de 10^{fr}. Plusieurs usines en Europe appliquent maintenant des procédés électriques différents de celui de M. Cowles; et il ne semble pas que les procédés chimiques, même entièrement transformés, puissent soutenir la lutte.

Procédés chimiques.

Les procédés chimiques ont tous recours au sodium pour réduire l'aluminium et comprennent, comme industrie annexe: 1° la fabrication de ce métal auxiliaire; 2° la préparation d'un sel d'alumine, qui est tantôt un chlorure, tantôt un fluorure destiné à être décomposé par le sodium.

TRAITEMENT DU CHLORURE.

Procédé Deville. — Dans le procédé Deville, les opérations étaient les suivantes:

I. Réduction et distillation du sodium, obtenu en chauffant avec du charbon un mélange de carbonate de soude et de craie.

II. Fabrication du chlorure double d'aluminium et de sodium. Pour cela, il fallait : 1° extraire l'alumine de la bauxite, en la fondant avec du carbonate de soude, lessiver pour séparer l'aluminate soluble et en précipiter l'alumine par un courant d'acide carbonique; 2° préparer le chlorure en faisant passer un courant de chlore sur un mélange d'alumine et de charbon.

III. Décomposition de ce sel, fondu avec la cryolithe dans un réverbère, par le sodium.

Il y a, dans le principe même de ce procédé, un point important sur lequel il me paraît utile de donner quelques explications.

On peut s'étonner que le charbon réduise la soude alors qu'il ne réduit pas l'alumine, et que, cependant, le sodium puisse déplacer l'aluminium de ses sels; cette dernière réaction prouve, en effet, que les composés du sodium sont plus stables, qu'ils sont les produits d'une affinité plus énergique; ils devraient donc être plus difficiles à réduire.

Il y a là une anomalie apparente aux lois générales de la Chimie. Elle se rattache à un autre principe, celui de l'influence qu'exerce sur la marche des réactions la grandeur

relative des masses en présence. On sait que, souvent, une réaction est limitée par la tendance que ses produits ont à s'engager dans la réaction inverse. Ainsi un oxyde qui est réduit à très haute température par le charbon, donne un métal qui tend à se réoxyder au contact des gaz obtenus et des scories. Si la réoxydation se fait aussi vite ou plus vite que la réduction, ce dernier effet ne se manifestera pas dans la pratique, et l'oxyde passera pour indécomposable par le charbon. C'est ce qui arrive pour l'alumine. Mais si le métal pouvait être soustrait immédiatement au milieu dans lequel il est exposé à se réoxyder, cette réaction inverse ne se produirait pas, et la réduction deviendrait définitive. C'est ce qui a lieu pour le sodium; grâce à sa volatilité, ses vapeurs se séparent des scories et peuvent être refroidies brusquement, de manière qu'une faible partie seulement se réoxyde.

Dans le récipient où se fait la réduction, il n'y a que de la soude et un grand excès de charbon, le sodium étant enlevé à mesure de sa production. Au contraire, quand on cherche à réduire l'alumine, l'aluminium, à supposer qu'il commence à s'en produire, reste dans l'appareil, à haute température, et s'y réoxyde immédiatement.

Le prix de revient à Salindres était voisin de 80^{fr} le kilogramme. Il se décomposait à peu près ainsi.

Pour un kilogramme d'aluminium :

3^{kg},50 de sodium à 11^{fr}	39^{fr} »
10 » de chlorure double à 2^{fr},50	25 »
4 » de cryolithe à 1^{fr},40	5 ,60
Main-d'œuvre et divers	3 »
(10^{kg} de charbon).	
	72^{fr},60

Prix du kilogramme de chlorure double :

0^{kg},60 d'alumine à 0^{fr},86	0^{fr},50
3 ,70 de bioxyde de manganèse à 0^{fr},14	0 ,50
16 » d'acide chlorhydrique à 0^{fr},03	0 ,50
Main-d'œuvre et divers	1 »
(26^{kg} de houille).	
	2^{fr},50

Prix du kilogramme de sodium :

$9^{kg},3$ de soude à $0^{fr},30$	3^{fr} »
75 » de houille	1 »
Main-d'œuvre	2 »
Frais divers	5 »
	11^{fr} »

L'usine de Salindres a vendu dans les dernières années de l'aluminium à 100^{fr}, puis la fabrication a été arrêtée devant la baisse toujours plus forte.

Procédé Castner. — Ce procédé avait reçu en Angleterre des perfectionnements notables, surtout de M. Castner, dont la méthode était suivie à Oldbury, il y a peu de temps.

La principale nouveauté portait sur la fabrication du sodium, qui entre pour plus de moitié dans le prix de revient total.

Fabrication du sodium. — M. Castner a substitué l'emploi de la soude caustique à celui du carbonate.

Le carbonate ne se réduit qu'à très haute température. La soude caustique est décomposée par le charbon à une température plus modérée, entre 800 et 1000, et dans ces conditions les vases en fer ne sont pas attaqués. Mais la soude est fusible, le charbon nage à sa surface et ne l'attaque plus. Cette difficulté avait empêché ce mode de préparation de devenir industriel.

M. Castner a résolu la question en remplaçant le charbon, comme réducteur, par du carbure de fer, qui est plus lourd et reste mélangé à la soude fondue. Ce composé s'obtient en calcinant un mélange de brai et de limaille de fer.

La réduction de la soude par le carbure se fait dans des creusets en acier chauffés à 1000° dans un four à gaz. (D'après certains auteurs, une température de 800° suffit, tandis qu'il en fallait 1500 dans le procédé Deville). Le sodium distille. On ne réduit qu'une partie de la soude. Le reste se transforme en carbonate qui se retrouve mélangé au fer. (Ce métal ne sert qu'à modifier l'état du carbone et n'in-

tervient pas dans la réaction.) Il faut environ 6^{kg} de soude pour 1^{kg} de sodium.

Les cornues ont 0^{m},46 de diamètre et 0^{m},61 de hauteur, et contiennent 36^{kg} du mélange. Il faut environ 2,25 de carbone et 4,75 de fer pour 10 d'alcali. Les cornues ouvertes par le haut sont au nombre de cinq, placées sur un piston hydraulique. Les têtes de ce piston traversent la sole du four et viennent appliquer les cornues contre des couvercles fixes. Sur ces couvercles sont vissés des condenseurs fermés par des cylindres en tôle inclinés, d'où le sodium tombe dans des récipients pleins de pétrole. Les gaz viennent brûler à l'issue des condenseurs.

La distillation dure environ une heure un quart. Puis on change les condenseurs, on abaisse le piston et l'on recharge les cornues. Cette manœuvre ne prend pas plus de dix minutes, et tout est prêt pour une seconde opération.

Une charge contenant 25^{kg} de soude donne environ 3^{kg} de sodium; le résidu lessivé fournit 24^{kg} de carbonate qui est renvoyé à l'usine pour être transformé en soude caustique, et 2^{kg} de carbure de fer non oxydé qui peuvent resservir.

Un creuset peut supporter 200 opérations. Les dépenses d'usure du matériel ne dépassent pas 0^{fr},20 à 0^{fr},30 par kilogramme de sodium. La consommation de combustible est également réduite, le four brûle environ 50^{kg} de charbon par heure.

Enfin la bonne organisation des manœuvres simplifie beaucoup le travail. Le prix de revient du sodium par ce procédé ne dépasserait guère 2^{fr},50.

Fabrication de l'aluminium. — Pour les autres opérations, les perfectionnements de Castner ne portent guère que sur des détails pratiques. Le chlorure double se prépare comme d'ordinaire; le mélange d'alumine avec du sel marin et du charbon, est humecté, broyé, malaxé et aggloméré en cylindres qu'on découpe en tronçons. On les dessèche dans des cornues cylindriques de 3^{m},60 de longueur; puis on y fait arriver au bout de quatre heures un courant de chlore, préparé par le procédé Weldon et recueilli dans des gazomètres en plomb qui

permettent de bien régler le débit. Les produits se condensent dans des chambres en briques. L'opération dure environ trois jours. La consommation de chlore, comparée à celle de Salindres, aurait été réduite de près de moitié.

La réduction se fait dans un four à réverbère chauffé au gaz. La charge comprend environ 550kg de chlorure double, 250kg de cryolithe et 150kg de sodium. On mélange les sels avec le sodium haché en copeaux; le tout est malaxé, puis versé par la voûte dans le four, dont les portes sont fermées et le chauffage arrêté. On donne ensuite le gaz, quand la fusion est commencée, et l'on chauffe pendant deux heures environ. On coule enfin l'aluminium qui s'est rassemblé sur la sole, on en recueille 50kg à 60kg. A Salindres, une opération durant trois ou quatre heures n'en donnait que 10kg à 11kg.

Prix de revient.

Voici, d'après les évaluations de M. Anderson, quelles étaient les consommations de matières :

I. Pour la réduction de 1kg d'aluminium :

Sodium	2kg,8
Chlorure double	10 2
Cryolithe	3 7
Charbon de chauffage	8 »

II. Pour la fabrication de 2kg,8 de sodium :

Soude caustique	20kg, »
Carbure de fer	3 2
Usure des creusets en acier	2 »
Charbon	75 »

III. Pour la fabrication de 10kg,2 de chlorure double :

Sel marin	3kg,7
Alumine	5 »
Chlore	7 »
Charbon	180 »

IV. Pour la fabrication de 7^{kg} de chlore :

Acide chlorhydrique........................	82^{kg} »
Carbonate de chaux.......................	7 »
Chaux....................................	14 »
Bioxyde de manganèse......................	0 ,46

L'usine pouvait produire 200^{kg} à 300^{kg} par jour.

Si l'on compare ces consommations à celles de Salindres, on voit qu'elles ne sont pas beaucoup plus faibles. Si donc le prix de revient a pu être abaissé de près de moitié, cela tient : 1° aux perfectionnements mécaniques, à la production plus forte qui ont permis de réduire notablement les frais de fabrication, surtout pour le sodium; 2° au bas prix des matières premières en Angleterre; le charbon ne coûtait que 5^{fr} la tonne; la valeur des différents produits chimiques devait être d'au moins 30 pour 100 inférieure à celle qu'ils avaient à Salindres.

En admettant les prix de 2^{fr},50 pour le sodium, 1^{fr},50 pour le chlorure double, 0^{fr},50 pour la cryolithe, on trouverait pour un kilogramme d'aluminium 23^{fr} de matières premières. On comprend donc que le prix de revient pourrait à la rigueur descendre à 25^{fr}. M. Kosmann l'évaluait à 37^{fr} en 1888, et le prix de vente était de 56^{fr}.

Dans tous les cas, ce procédé ne paraît pas pouvoir lutter contre les méthodes actuelles, et son infériorité tient à l'emploi du chlorure d'aluminium, dont la fabrication, exigeant une forte consommation de chlore, sera toujours onéreuse; le chlorure et la cryolithe nécessaires à la fabrication d'un kilogramme reviendront à 15^{fr} ou 20^{fr}, tandis que, par l'emploi de la cryolithe seule, les dépenses correspondantes peuvent s'abaisser au-dessous de 5^{fr}. Je crois donc pouvoir conclure qu'il faut renoncer définitivement, dans toutes les méthodes chimiques ou électriques, à utiliser le chlorure.

M. Castner obtenait de l'aluminium très pur grâce à une opération supplémentaire, qui peut être introduite dans toutes les fabrications. Le chlorure double contient toujours du fer, emprunté à l'argile des fours. Pour purifier ce produit, on le soumettait à une fusion préalable avec une petite quan-

tité de poudre d'aluminium et de sodium; le fer se réduisant facilement, la teneur descend de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{1000}$. On peut aussi faire cette purification en électrolysant le sel fondu : avec une force électromotrice faible, on ne précipite que le fer.

TRAITEMENT DE LA CRYOLITHE.

Dans les procédés que nous venons de décrire, on ajoute au chlorure, comme fondant, une quantité de cryolithe qui serait suffisante pour produire l'aluminium obtenu. Ce sel, plus difficile à décomposer, ne se réduit pas; il sert à rendre le bain plus fusible et à augmenter sa stabilité : il permet d'obtenir une scorie bien liquide, sans provoquer la volatilisation du chlorure.

Il était naturel de chercher à extraire le métal contenu dans ce fondant, et bien des essais avaient été faits autrefois dans ce sens. La cryolithe est réduite par le sodium à une température de 800° à 900°, peu supérieure à celle qui est nécessaire pour décomposer le chlorure : mais elle dégage du fluor et attaque énergiquement les métaux ou les matières siliceuses. L'aluminium obtenu est impur : il se charge de silicium ou de fer par suite de la corrosion des parois.

Pour lever les difficultés, on a modifié la manière d'opérer la réduction : on est arrivé à provoquer une réduction très rapide, dans des vases dont les parois s'échauffent peu et n'ont pas le temps de s'attaquer d'une manière sensible.

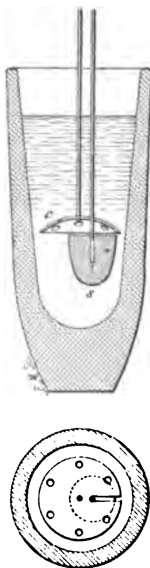
Procédé Netto. — Le type de ces procédés est celui de M. Netto, qui a été appliqué avec succès à Walsend, en Angleterre.

La réduction de la cryolithe peut se faire en creuset ou dans un convertisseur.

Réduction au creuset. — Le creuset est en plombagine, fixé dans une cuve cylindrique en tôle; on y fond d'abord 90^{kg} de cryolithe, avec 180^{kg} de sel marin, qui intervient seulement pour la délayer. Puis on y plonge un bloc de sodium

($2^{kg},5$), qui a été moulé et solidifié au bout d'une tige en fer; on l'enfonce dans le bain en le pressant avec une sorte de couvercle en tôle que deux ouvriers, la figure couverte de masques, portent suspendu au milieu d'une longue barre de fer (*fig.* 1). La réaction est immédiate et très vive; il se dé-

Fig. 1. — Creuset Netto.



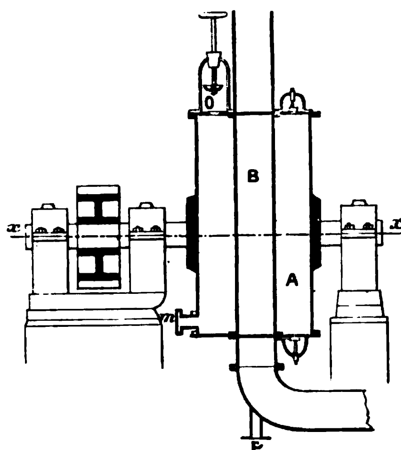
s, bloc de sodium. — *c*, couvercle perforé pour diviser les vapeurs.

gage des vapeurs blanches de fluorure. Le sodium, volatil à cette température, traverse la masse fondue sous forme de vapeurs. L'opération ne dure que quelques minutes.

La cuve est portée sur un petit chariot, et peut basculer pour couler le métal dans un moule en fonte, où il se réunit en culot et se sépare de la scorie. On obtient $4^{kg},5$ d'aluminium et une scorie contenant environ 43 pour 100 de fluorure de sodium, 43 pour 100 de chlorure et 15 pour 100 de cryolithe non décomposée. L'aluminium qui s'y trouve disséminé peut être recueilli à l'état de bronze, en plongeant une barre de cuivre rouge dans le bain.

Réduction au convertisseur. — Le convertisseur, qui s'emploie pour les opérations courantes, est un cylindre traversé par un tuyau où passent les flammes obtenues par la combustion des gaz d'un gazogène. On y charge la cryolithe, puis, quand elle est assez chaude, le sodium liquide. On ferme alors le tampon de chargement; on interrompt la communication avec le gazogène, et l'on fait tourner le cylindre sur des pivots

Fig. 2.



A, convertisseur mobile autour de l'axe x. — B, tuyau servant au chauffage préalable. O, orifice de chargement. — m, trou de coulée.

perpendiculaires à sa longueur. La coulée se fait par un orifice latéral, après avoir replacé le cylindre verticalement (*fig.* 2).

Le traitement est plus économique, mais le métal moins pur qu'au creuset.

Traitements fractionnés pour obtenir l'aluminium pur. — Quand on veut obtenir de l'aluminium très pur, on peut y arriver en fractionnant le traitement. On commence par ajouter un tiers du sodium nécessaire. Les impuretés des matières premières (silicium et fer) se concentrent dans l'aluminium qu'on obtient; la scorie transvasée est traitée par une nouvelle quantité de sodium et donne du métal pur.

L'aluminium à deux traitements, au creuset, peut contenir 99 pour 100 d'aluminium réel, tandis qu'au convertisseur il en contient 97 à 98; l'aluminium à un traitement n'a qu'une teneur de 90 à 95 pour 100.

Régénération de la cryolithe. — La cryolithe naturelle n'est employée qu'en petites quantités, surtout au début du traitement. Ensuite on régénère la scorie en la fondant avec du sulfate. La réduction se fait suivant la formule



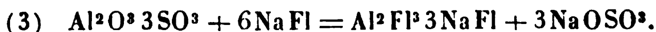
$$(1) \qquad Al^2Fl^3, 3NaFl + 3Na = 2Al + 6NaFl.$$

La scorie se compose donc principalement de fluorure de sodium, avec une certaine proportion de cryolithe non décomposée. Or, si l'on chauffe au rouge un mélange intime de sulfate d'alumine avec le fluorure de sodium, il y a échange des acides et des bases, suivant la formule



$$(2) \qquad Al^2O^3 3SO^3 + 3NaFl = Al^2Fl^3 + 3NaOSO^3.$$

S'il y a excès de fluorure de sodium, il se forme du fluorure double :



$$(3) \quad Al^2O^3 3SO^3 + 6NaFl = Al^2Fl^3 3NaFl + 3NaOSO^3.$$

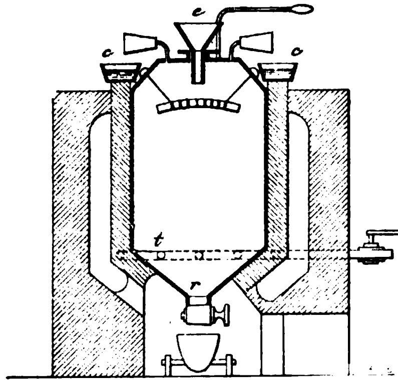
Le fluorure double, peu soluble, peut être séparé du sulfate de soude par des lavages à l'eau chaude.

D'après ces formules, la cryolithe pourrait se régénérer complètement; elle fournirait une fois pour toutes le fluor, qui ne sert que d'intermédiaire et se retrouve dans la scorie : l'alumine proviendrait du sulfate. Si ce dernier est pur, les impuretés de la cryolithe naturelle se trouveront éliminées après les premières opérations.

En réalité, il y a des pertes en fluor pendant la réduction, et aussi pendant le lessivage. Le fluorure double n'est pas rigoureusement insoluble; on en perd 15 pour 100 environ. On n'utilise donc pas toute l'alumine du sulfate, et il faut aussi fournir du fluor; on peut, soit introduire une certaine proportion de cryolithe naturelle pour réparer les pertes, soit ajouter du fluorure de sodium et employer un excès de sulfate.

Fabrication du sodium. — Le sodium se prépare en partant de la soude caustique, comme dans le procédé Castner, mais dans des appareils spéciaux qui permettent un travail continu. La soude fondue est versée par un entonnoir dans un récipient en tôle, dont le fond est rempli par du charbon chauffé au rouge vif. Elle tombe en gouttelettes sur les fragments de charbon et s'y décompose. Le sodium se rend à la

Fig. 3. — Appareil pour la fabrication du sodium.



c, c, condenseurs pour les vapeurs de sodium. — r, robinet pour écouler le sodium. e, entonnoir pour verser la soude fondue. — t, tuyères.

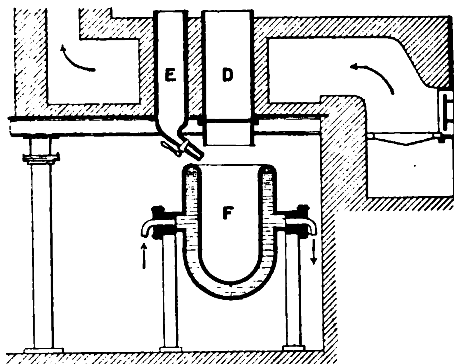
partie supérieure dans des condenseurs aplatis. Le carbonate formé peut être soutiré par un orifice placé à la base (*fig.* 3).

Pour 1^{kg} de sodium, on dépense 10^{kg} de soude, $1^{kg},20$ de fonte (usure de l'appareil); 12^{kg} de coke de chauffage et $1^{kg},5$ de charbon de réduction. Le prix de revient descendrait, dit-on, à 2^{fr} et même au-dessous, ce qui me paraît supposer un prix bien bas pour la soude.

L'usine de Walsend produisait, en 1889, 200 tonnes par an. Les consommations par kilogramme étaient d'environ : 12^{kg} de cryolithe, 12^{kg} de sel marin, 3^{kg} de sodium et 20^{kg} de charbon. Il y aurait donc 10^{fr} à 12^{fr} de matières premières. Il ne semble pas que cette usine ait pu livrer l'aluminium à moins de 20^{fr} le kilogramme. Elle était arrêtée en 1890; je ne sais si la fabrication a été reprise.

Procédé Grabau. — M. Grabau a expérimenté un procédé différent, dans lequel le sel réduit n'est plus du fluorure double, mais du fluorure d'aluminium pur. Ce corps n'est pas fusible : on le chauffe à part dans un cylindre en fonte (revêtu d'un enduit de graphite ?) : le sodium est chauffé dans un autre cylindre placé à côté (*fig.* 4). Ces deux corps, portés au rouge

Fig. 4.

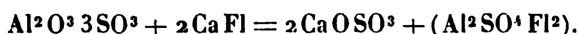


D, cylindre où se chauffe le fluorure. — E, cylindre où se fond le sodium. — F, convertisseur à parois refroidies, servant à la réduction.

sombre, tombent ensuite dans un convertisseur mobile placé sur un chariot, qu'on approche au-dessous des cornues. Le sodium réagit vivement sur le fluorure en poudre, et passe à l'état de fluorure. Ce sel se combine à une partie du fluorure de l'aluminium pour former de la cryolithe, qui se fige sur les parois refroidies de la cuve, et y constitue un enduit empêchant la corrosion. Cette cuve bascule sur des tourillons pour verser le métal après l'opération. — Les pertes de sodium sont moins fortes que dans les autres procédés à cause de la température basse et du moindre volume des scories. On utiliserait 85 à 90 pour 100 du sodium au lieu de 75 pour 100.

Les matières premières servant à la fabrication du fluorure d'aluminium sont : le sulfate d'alumine, le spath fluor, et le fluorure de sodium provenant de la scorie même. — Cette fabrication se fait en deux temps :

1° On transforme le sulfate en fluosulfate par réaction sur le spath fluor. Pour cela, on ajoute le spath en poudre dans une dissolution de sulfate d'alumine, et l'on chauffe à 60° pendant plusieurs heures : il se forme du sulfate de chaux insoluble, suivant la formule



$$Al^2O^3\,3SO^3 + 2CaFl = 2CaO\,SO^3 + (Al^2SO^4Fl^2).$$

Ce fluosulfate reste dans la dissolution décantée avec un excès de sulfate d'alumine : on ne décompose guère que 60 pour 100 de ce sel.

2° La dissolution filtrée et reposée, on l'évapore à consistance sirupeuse, puis on la malaxe avec la scorie des opérations précédentes finement pulvérisée; au début, on emploie la cryolithe naturelle. On dessèche le résidu, puis on le casse en petits morceaux; ensuite on le chauffe au rouge sans aller jusqu'à fusion. Le sulfate d'alumine achève de se décomposer et de se transformer en fluorure, qu'on sépare par lessivage du sulfate de soude.

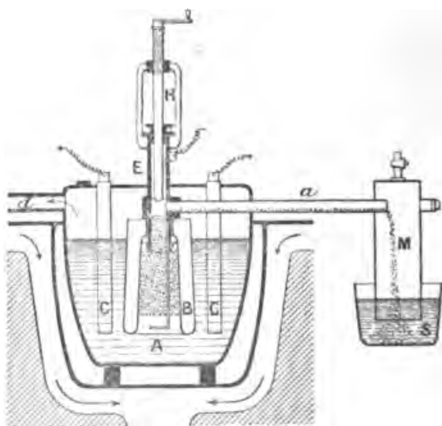
D'après M. Ichon, les moufles où se fait cette calcination doivent être à parois exemptes de fer et de silice. (Je ne vois guère pour remplir cette condition que les revêtements en graphite ou en charbon aggloméré.) Les impuretés de la cryolithe naturelle se trouvent éliminées par les premières réductions : on pourrait lui enlever le fer par un lavage préalable aux acides faibles. Le fluosulfate peut contenir un peu de fer; on le précipite dans la dissolution par du prussiate de potasse. La silice s'éliminerait sous forme de fluorure volatil pendant la calcination. On arriverait donc à obtenir des matières très pures. En pratique, je ne sais si l'on a pu produire de l'aluminium pur sans recourir aux traitements fractionnés.

Il faut remarquer qu'on n'extrait que la moitié de l'aluminium : le reste, ainsi qu'une partie du fluor, se retrouve sous forme de cryolithe artificielle, qui n'est plus utilisée : car le fluor étant ajouté sous forme de spath, toute la scorie n'est pas nécessaire pour la régénération. Cette cryolithe trouverait un emploi dans les verreries.

M. Grabau a aussi adopté un procédé tout nouveau de fa-

brication du sodium. Il l'extrait directement du sel marin par électrolyse de ce sel fondu. Cette opération est difficile à réaliser : les vases sont rapidement détruits. On y est parvenu en opérant sous une cloche en porcelaine, à parois creuses refroidies : cette cloche renversée recouvre la cathode en fer. Le sodium se rassemble à la partie supérieure et s'échappe par un tube recourbé en fer : il va tomber dans un vase plein de

Fig. 5.



CC, anodes en charbon. — H, cathode en fer, terminée par le fil A. — B, cloche de porcelaine à double paroi, où se rassemble le sodium qui surnage et va tomber par le tube *a* dans le condenseur S.

pétrole. Le chlore se dégage hors de la cloche sur l'anode en charbon (*fig.* 5).

Le prix de revient serait, dit-on, notablement inférieur à 2fr. Ce résultat n'a rien d'invraisemblable, car il y a évidemment une grande économie à éviter l'emploi de la soude caustique. Mais ce succès même peut être considéré comme la condamnation des procédés chimiques : du moment qu'on recourt à l'électrolyse pour isoler le sodium, il n'y a plus de raison pour ne pas l'appliquer directement à l'extraction de l'aluminium, qu'elle réalise très facilement : l'emploi du sodium comme intermédiaire ne peut être qu'onéreux.

Infériorité des procédés chimiques. — M. Grabau comptait obtenir le kilogramme d'aluminium à 15^{fr} : je ne sais si sa méthode a été appliquée sur une échelle industrielle. Nous verrons que les procédés électriques donnent des prix de revient bien plus satisfaisants. Ils peuvent servir à traiter les mêmes matières, et l'emploi du sodium grève les frais de fabrication de plus de 6^{fr} par kilogramme, qui ne sont rachetés par aucun avantage sérieux : quand même on réduirait cette somme à 3^{fr} par l'abaissement du prix du sodium, elle suffirait à constituer aux procédés chimiques une infériorité irrémédiable.

On n'en pourrait pas dire autant des procédés de réduction directe, dans lesquels l'alumine serait décomposée par le charbon, avec l'aide d'autres réactifs moins chers que le sodium : mais, jusqu'à présent, cette décomposition n'a pu être réalisée d'une façon pratique.

PROCÉDÉS PAR RÉDUCTION DIRECTE.

On a proposé à différentes reprises des procédés dans lesquels le sodium n'intervient pas, et où la réduction est produite par le charbon, le plus souvent en présence d'un autre métal. Plusieurs auteurs ont déclaré ce résultat impossible parce que la réduction de l'alumine absorbe plus de chaleur que n'en produit l'oxydation du carbone. Ce raisonnement n'est pas exact : on pourrait l'appliquer à la soude, dont la réduction par le charbon est cependant un fait acquis.

Théoriquement, il n'y a rien d'impossible à ce que le charbon réduise tous les oxydes à une température suffisamment élevée, et avec l'aide d'une source de chaleur extérieure. Mais, comme je l'ai dit plus haut, si le métal a une grande affinité pour l'oxygène, il faut pouvoir le soustraire immédiatement aux causes de réoxydation, sans quoi la réaction s'arrête. Dans le cas du sodium, qui est volatil, cette condition est réalisée, parce qu'il s'échappe aussitôt à l'état de vapeurs. Dans le cas de l'aluminium, qui reste en présence des produits de la réaction, on n'a pas jusqu'ici trouvé de moyen de le conserver

et de le recueillir. Mais il n'est pas douteux qu'il se produise au moins en petite quantité, puisqu'on en trouve dans les fontes grises, où il se produit par la réduction de l'argile. Il n'est pas impossible de le protéger jusqu'à un certain point en l'alliant immédiatement à d'autres métaux tels que le fer, le cuivre, le zinc.

Procédé Brin. — On peut réduire la cryolithe en la chauffant avec du fer et du charbon. MM. Brin, chimistes à Londres, disent obtenir le ferro-aluminium à très bas prix en réduisant l'argile au four à cuve, en présence de la fonte. L'argile est mélangée avec du coke pilé et un flux dont on ne donne pas la composition : ce flux contiendrait, d'après certains auteurs, du borax, peut-être du sel marin et de la cryolithe. Le tout est chauffé au cubilot en mises alternant avec des barres de fonte.

Ce procédé, tenu secret, ne paraît pas, depuis qu'il est annoncé, avoir pris l'importance commerciale qu'il devrait avoir s'il avait réussi. Il semble qu'on n'est pas arrivé à fabriquer des alliages contenant plus de 1 à 2 pour 100 d'aluminium.

On dit du reste que MM. Brin emploient maintenant l'arc voltaïque à achever la réduction du mélange. Le procédé rentre donc alors dans la catégorie des procédés électriques que nous allons étudier.

On a essayé la réduction du chlorure d'aluminium par les vapeurs du zinc. On a fait intervenir avec le charbon, le cuivre, le plomb, le manganèse pour recueillir à l'état d'alliage l'aluminium réduit. D'autres inventeurs ont cru obtenir l'aluminium sous forme de sulfure facilement décomposable en chauffant l'alumine avec du charbon et du sulfure de carbone.

Aucun de ces procédés n'a abouti et il me paraît inutile de les étudier en détail. Mais il serait prématuré d'affirmer *a priori* l'inutilité de tout effort dans ce sens.

Procédés électriques.

PRINCIPES DES MÉTHODES USITÉES.

Le procédé Cowles, le premier qui ait reçu des applications industrielles, consistait à chauffer dans l'arc voltaïque un mélange d'alumine et de charbon. La réduction a lieu grâce à la haute température développée, qui est assez élevée pour fondre même l'alumine. Il faut opérer avec des courants très puissants, et les électrodes restent relativement éloignées pendant le travail.

A ces hautes températures, une partie de l'aluminium se volatilise ou se réoxyde, le déchet est considérable : on n'arrive à recueillir ce métal en quantité suffisante qu'à condition de l'absorber immédiatement dans un autre métal, avec lequel il forme un alliage plus stable, tel que le fer ou le cuivre. On ne peut donc préparer que des alliages, bronze ou ferro-aluminium, et non l'aluminium pur.

Les autres procédés en usage aujourd'hui emploient tous l'électrolyse par fusion ignée. On réduit, par l'action même du courant, un composé fondu de l'aluminium. Le courant passant au travers d'un bain en fusion, relativement conducteur, on peut opérer avec des tensions beaucoup plus faibles. Les électrodes doivent rester peu éloignées, pour ne pas augmenter trop la résistance au passage de l'électricité.

M. Héroult, dont le procédé, au point de vue des applications industrielles, est venu le premier en date après celui de M. Cowles, a cherché à décomposer directement l'alumine fondue. La réaction se fait assez difficilement; il faut encore des courants puissants pour fondre ce corps très réfractaire. Aussi, dans la pratique, on ajoute toujours de la cryolithe pour augmenter la fusibilité. A mesure qu'on en augmente la dose, on peut opérer à plus faible tension et l'on se rapproche des conditions du procédé Minet, qui est fondé sur l'électrolyse des fluorures.

D'après M. Héroult, la cryolithe ne devait servir que de dis-

solvant, c'était l'alumine qui était décomposée par l'électrolyse. Il est douteux que cette réaction ait été jamais réellement obtenue. Quand on opère sur des bains riches en alumine, le charbon de l'électrode subit une usure rapide, il se dégage des flammes autour, la quantité de charbon qui disparaît est supérieure à celle qui serait théoriquement nécessaire pour réduire l'alumine. Aussi M. Cowles a-t-il pu soutenir que cette réduction s'opérait par le charbon, comme dans son procédé, avec cette seule différence que ce charbon, au lieu d'être ajouté à la charge, était emprunté à la substance de l'électrode.

Cette question me paraît à peu près insoluble. Je résumerai plus loin les discussions auxquelles elle a donné lieu.

Elle n'a plus, du reste, qu'un intérêt abstrait. En pratique, on opère toujours sur un mélange d'alumine et de fluorure, et, comme il n'est pas douteux que ce dernier sel s'électrolyse facilement, on peut admettre que c'est bien l'action électrique qui met l'aluminium en liberté. Le procédé ainsi appliqué se différencie donc bien nettement du procédé Cowles, mais pour se rapprocher du procédé Minet.

M. Minet a étudié scientifiquement l'électrolyse des sels fondus : il a déterminé les lois physiques de ce phénomène, et est arrivé ainsi, par une voie méthodique et sûre, à définir les conditions les plus favorables pour obtenir l'aluminium avec des courants à basse tension. Le sel qui se prête le mieux à l'électrolyse est le fluorure double de sodium et d'aluminium. Sa décomposition dégageant du fluor au pôle positif, on peut absorber ce gaz en chargeant d'une manière continue de l'alumine, qui se transforme en fluorure. C'est ce dernier sel qui subit seul l'action électrolytique, mais le bain est alimenté avec un mélange de fluorure et d'alumine.

D'autre part, dans le procédé Héroult, tel qu'il est pratiqué aujourd'hui, après les modifications successives apportées par M. Kiliani, c'est aussi un mélange de fluorure et d'alumine qu'on électrolyse, et l'on est arrivé à employer des tensions assez faibles. Ainsi, les deux systèmes, différents à l'origine, puisque l'un reposait sur l'électrolyse de l'alumine, l'autre sur celle du fluorure, sont arrivés à se confondre et à traiter à peu près le même mélange. Il est bien probable que les réactions

sont les mêmes dans les deux cas, et que l'alumine ne s'électrolyse qu'après s'être transformée en fluorure.

Il y a bien encore une petite différence, c'est que M. Minet chauffe les bains à l'aide d'un foyer extérieur pour fondre le fluorure, tandis que, dans le procédé Héroult-Kiliani, la fusion est déterminée par la chaleur produite par le courant lui-même. A ce point de vue, on pourrait caractériser les trois méthodes usitées, en disant que, dans le procédé Cowles, l'électricité sert seulement d'agent de chauffage; dans le procédé Minet, elle sert seulement d'agent de décomposition; et, dans le procédé Héroult, elle remplit ces deux rôles à la fois. Cette distinction est plus théorique que réelle, car, une fois l'opération en marche, la chaleur dégagée par l'électricité élève forcément la température des bains, et le foyer extérieur employé par M. Minet ne joue plus qu'un rôle subordonné.

Le procédé Kleiner, qui a été appliqué à Neuhausen avant celui d'Héroult, consistait à électrolyser la cryolithe. Celui de Graetzel, appliqué à Hemelingen, consistait à électrolyser un mélange de chlorure double d'aluminium et de sodium avec du charbon en poudre : il n'est pas probable qu'il y ait avantage à employer ce sel, qui est plus coûteux à préparer que les fluorures; le procédé a été modifié depuis, en ajoutant à la charge de la cryolithe : il tend donc à se rapprocher des précédents.

Le procédé Hall, suivi à Pittsburg, ne diffère du procédé Minet que par la disposition du creuset.

Il n'y a, en définitive, parmi les procédés appliqués aujourd'hui, que deux méthodes réellement différentes en présence : l'électrolyse par fusion ignée des fluorures (procédés Héroult, Minet, etc.), et la réduction de l'alumine par le charbon dans un four chauffé par l'électricité (procédé Cowles).

Nous avons vu que le procédé Cowles ne permettait de fabriquer que des alliages. Ainsi, toutes les méthodes électriques pour obtenir l'aluminium pur sont, en somme, fondées sur la même réaction, l'électrolyse des fluorures fondus, et ne diffèrent que par des détails accessoires.

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS.

Nous allons maintenant donner quelques détails pratiques sur l'application des trois procédés principaux : ceux de Cowles, Héroult et Minet.

Procédé Cowles. — Dans le procédé Cowles, on soumet à l'action d'un courant puissant un mélange d'alumine et de charbon. Pour avoir un métal pur, on doit employer du corindon ou de l'alumine artificielle : si l'on traite de la bauxite, on obtient un métal très impur, contenant jusqu'à 10 pour 100 de silicium et 5 pour 100 de fer. Il peut s'employer dans la fabrication du ferro-aluminium, mais non dans celle des bronzes.

Quand on veut fabriquer de toutes pièces des alliages, on ajoute au mélange de la limaille de cuivre ou de fer en proportion convenable. Il faut avoir soin que les grenailles métalliques soient bien disséminées dans la masse et ne se touchent pas, car elles offriraient un passage trop facile au courant qui n'agirait plus sur l'alumine.

L'opération se fait dans un four rectangulaire de 1^m de long sur $0^m,90$ de large (*fig.* 6).

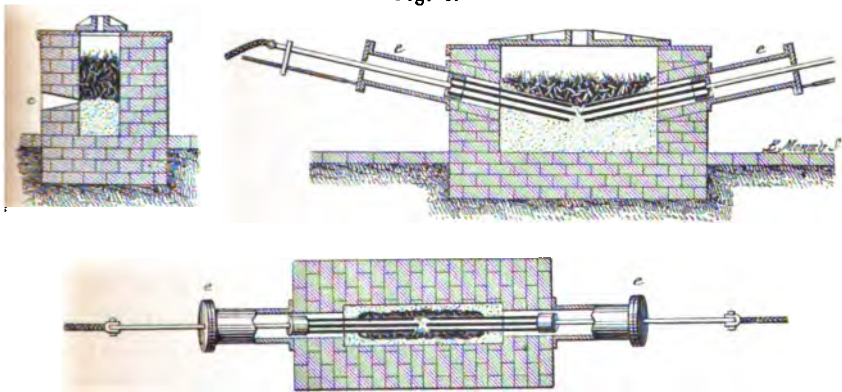
Les parois sont garnies d'une brasque de poussier de charbon mélangé avec de la chaux : on obtient ainsi une matière bien réfractaire, qui n'est pas conductrice de l'électricité. Puis on tasse au centre du fourneau le mélange d'alumine avec du charbon et du métal, de façon à former un prisme, qu'on recouvre de charbon en poudre. On place enfin un couvercle percé de trous qu'on lute.

Par chaque extrémité du four pénètrent deux électrodes mobiles formées par des faisceaux de crayons en charbon ; on peut les rapprocher à volonté. Au début, elles sont peu distantes et on les écarte à mesure que la résistance diminue.

Autrefois, les électrodes étaient fixes et l'on réglait l'intensité du courant avec des boîtes de résistance plongées dans une cuve pleine d'eau. Mais la résistance était trop forte au début.

Avec la disposition actuelle, on part avec une résistance très faible, en modérant l'action de la machine, puis on écarte peu à peu les électrodes, en augmentant la force électromotrice. Il faut surveiller de très près l'appareil parce que les conditions variables où se trouve la charge peuvent provoquer des changements brusques dans l'intensité du courant. Un coupe-circuit constitué par des châssis à lame de plomb sert d'appareil de sûreté, la fusion du métal interrompt le courant

Fig. 6.



ee, électrodes mobiles. — *c*, trou de coulée.

s'il dépasse 8000 ampères. L'intensité normale est de 5000 à 6000 ampères, avec une tension de 60 à 70 volts. Sous l'influence de ce courant puissant, la masse s'échauffe : elle se trouve comme plongée dans l'arc voltaïque. Le métal entre en fusion et se rassemble sur la sole. L'alumine est décomposée ou réduite par le charbon et l'aluminium s'allie au métal fondu. Il s'échappe par les trous du couvercle une flamme d'oxyde de carbone entraînant des poussières d'alumine. (Peut-être y a-t-il volatilisation et réoxydation de l'aluminium?) L'opération est terminée en une heure et demie environ; on coule l'alliage par un trou de coulée latéral. On obtient à chaque charge environ 7^{kg} à 8^{kg} d'aluminium allié.

L'usine de Milton produit par jour 70^{kg} à 90^{kg} d'aluminium, avec un personnel de 25 hommes et une machine de 400 che-

vaux. Le rendement a, dit-on, atteint 40^{gr} par cheval-heure dans certains essais; mais, en moyenne, il ne dépasse pas 15 à 20 et se réduit à 10 si l'on tient compte des arrêts.

Les premiers résultats annoncés par Cowles en 1887 ont produit dans le monde industriel une émotion considérable. On croyait voir bientôt l'aluminium vendu couramment à 5^{fr} le kilogramme. En fait, on n'est pas arrivé à produire l'aluminium isolé : à la température à laquelle on opère, ce métal se brûle ou se volatilise, le déchet est trop considérable. Il est du reste toujours impur. On n'a pu fabriquer que des alliages : on les a obtenus, il est vrai, à bas prix; l'aluminium y est compté aujourd'hui à moins de 10^{fr} le kilogramme. Mais la qualité laisse bien à désirer; ils contiennent souvent de fortes proportions de silicium et de calcium (3 à 10 pour 100 de Si, 3 pour 100 de Ca d'après M. Kosmann) et en Europe on a grand'peine à en trouver le placement.

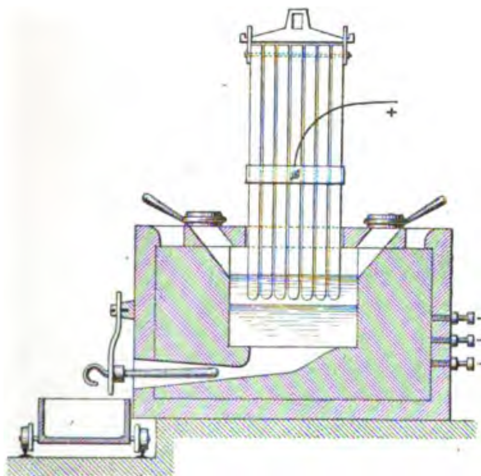
Procédé Héroult-Kiliani. — Le procédé Héroult diffère du procédé Cowles parce qu'au lieu d'opérer sur un mélange d'alumine solide et de charbon, on opère sur l'alumine fondue. Les électrodes sont très rapprochées. Le courant passant à travers la matière en fusion, qui est peu conductrice, fournit la chaleur nécessaire pour la fondre et produit en même temps sa décomposition. On n'ajoute pas de charbon pour réduire l'alumine, mais il y a consommation d'une certaine quantité de charbon de l'électrode, qui peut bien avoir une action chimique.

L'alumine seule peut à la rigueur être fondue par le courant; la réduction est alors difficile, on ne peut recueillir des quantités notables d'aluminium qu'à condition d'avoir à la cathode un métal fondu, fer ou cuivre, auquel il s'allie et qui l'empêche de se réoxyder.

En pratique, pour faciliter la fusion, on ajoute de la cryolithe en poids à peu près égal à celui de l'alumine. Le bain devient alors bien liquide, et la réaction se produit plus régulièrement avec des courants plus faibles. Cette méthode, résultant des modifications apportées par M. Kiliani, est seule appliquée aujourd'hui.

Appareils. — L'appareil Héroult se compose d'une cuve en fer garnie à l'intérieur d'un épais revêtement en graphite ou en charbon conducteur (*fig.* 7). Ce revêtement était nécessaire quand on marchait avec de l'alumine fondue, à très haute température. Dans les appareils nouveaux construits par M. Kiliani on a supprimé le garnissage sur les parois latérales, il n'y a que le fond sur lequel on dame une couche de char-

Fig. 7.



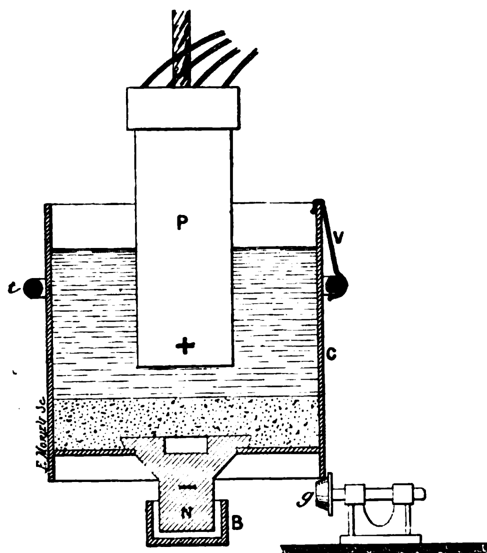
bon mêlé de goudron. Comme la cuve n'est chauffée qu'à l'intérieur par le courant, le refroidissement par l'air suffit pour déposer sur les parois une couche de cryolithe figée qui les protège. Si on les voit rougir au dehors, on les arrose un instant (*fig.* 8).

Les cuves sont faites en tôle, cylindriques, de $0^m,60$ de diamètre sur $0^m,55$ de hauteur. Elles étaient pourvues de galets et d'engrenages permettant de leur donner un mouvement de rotation, mais aujourd'hui on en a reconnu l'inutilité, et on les laisse immobiles. La rotation avait surtout pour but de désagréger la croûte de cryolithe figée qui se forme à la surface du bain et qui entrave l'alimentation; il est plus simple de la briser avec des ringards.

Le courant passe par les parois de la cuve, et le métal fondu qui se rassemble au fond forme l'électrode négative.

L'anode est formée par un bloc de charbon de $0^m,25$ de côté, composé d'une série de plaques juxtaposées. Elle est suspendue à une potence par l'intermédiaire d'une vis qui permet de l'abaisser ou de l'élever. Elle plonge dans le bain

Fig. 8.



N, pivot formant cathode. — P, bloc de charbon suspendu formant anode. *t*, tuyau d'arrosage.

fondu, où on la maintient à quelques millimètres au-dessus du métal.

On charge d'abord un peu de métal et de cryolithe; on détermine la fusion en faisant passer le courant. Puis on alimente avec un mélange d'alumine et de cryolithe. Il faut casser de temps en temps la croûte figée qui se forme à la surface du bain et gênerait l'alimentation. On soutire le métal par un trou de coulée. Le fond du bain est formé par du fer ou du cuivre quand on fabrique des alliages.

La marche est continue.

La production d'un appareil est de 20^{kg} environ en 24 heures. La force électromotrice nécessaire ne paraît pas dépasser 10 ou 20 volts. On indique pour la marche pratique des forces variant de 15 à 25 volts. L'intensité du courant est de 3000 à 4000 ampères.

Résultats. — La production par cheval-heure aurait atteint dans certains essais 30^{gr} à 40^{gr}, mais, en pratique, elle ne dépasserait pas en moyenne 18 à 22.

On consomme, par kilogramme d'aluminium, 2^{kg},2 d'alumine, 1^{kg},6 de cryolithe et 1^{kg},6 de charbon d'électrode. Ce dernier produit, dont la préparation se fait à l'usine, revient à 0^{fr},40. L'alumine et la cryolithe reviennent à 1^{fr}, 10. Il y aurait donc pour près de 5^{fr} de matières premières.

Ce procédé fonctionne à Froges (Isère), où l'usine dispose d'une chute de 800 chevaux, et à Neuhausen, sur la chute du Rhin, où l'on peut utiliser 2000 chevaux. Il paraît plus pratique que le procédé Cowles.

Au début on ne faisait que des alliages, par électrolyse de l'alumine en présence de la fonte ou du cuivre fondus. Grâce à l'emploi plus large de la cryolithe, on a pu fabriquer de l'aluminium pur, et on a renoncé à faire les alliages directement : on est plus sûr de leur composition lorsqu'on les fait en refondant l'aluminium avec les métaux, et il est toujours difficile d'éviter une refonte si l'on veut avoir des alliages d'un dosage déterminé. Cependant, j'ai entendu dire qu'on avait recommencé depuis à fabriquer directement le bronze; il est possible que le rendement en aluminium soit meilleur dans ce cas que dans la fabrication du métal pur.

Nature des réactions. — On a beaucoup discuté sur la nature exacte des réactions qui se produisent. L'inventeur soutenait que l'alumine fondue est électrolysée, au lieu d'être réduite chimiquement comme dans le procédé Cowles, que, d'autre part, le fluorure jouait seulement le rôle de fondant au lieu de s'électrolyser et de fournir l'aluminium comme dans le procédé Minet.

Il invoque à l'appui de sa thèse un argument qui paraît au premier abord de nature à trancher la question. Dans le procédé Cowles on peut employer les courants alternatifs, parce que l'électricité n'agit que comme moyen de chauffage. Le procédé Héroult, au contraire, ne réussit qu'avec des courants continus; cela doit être, si le métal est mis en liberté par l'électricité, car alors il se rendra toujours au pôle négatif et des courants alternatifs auraient pour effet de lui faire faire la navette entre les deux électrodes. Cette preuve ne me paraît pas convaincante : elle montre seulement qu'il peut y avoir action électrolytique, mais non qu'elle ait lieu en réalité.

L'appareil Héroult n'est pas symétrique; l'électrode négative est formée par le creuset même où se rassemble le métal fondu, tandis que l'électrode positive est un charbon suspendu. Il est évident du reste que le fluorure qu'on ajoute se trouve dans les conditions nécessaires pour s'électrolyser. Si l'on renversait le courant, son action tendrait à provoquer l'attaque du métal déjà recueilli et son transport au pôle positif : il contrarierait la réduction au lieu de l'aider. L'emploi de courants alternatifs ne peut donc être pratique dans ces appareils; mais cela ne prouve pas que l'action électrolytique y soit prépondérante, et que l'action chimique du charbon ne joue pas un rôle important.

On a invoqué le dégagement d'oxygène au pôle positif pour démontrer que c'était bien l'alumine qui s'électrolysait, et non le fluorure. D'autres auteurs ont soutenu qu'elle était réduite par le charbon de l'électrode, parce que ce dernier s'use en quantité plus que suffisante pour correspondre à cette réaction : ces faits sont aussi peu probants l'un que l'autre.

Si l'électrode s'use, il n'est pas certain pour cela que le charbon agisse directement sur l'alumine et la réduise; de quelque façon que l'aluminium soit produit, il y a dégagement d'oxygène au pôle positif, soit que l'alumine soit elle-même électrolysée, soit qu'il y ait d'abord décomposition du fluorure. Dans ce cas, en effet, le fluor dégagé réagit sur l'alumine et met en liberté une quantité équivalente d'oxygène. Ce gaz, produit au contact du charbon à haute température, doit for-

cément le brûler. Dans le procédé Minet, où l'aluminium provient certainement de l'électrolysation du fluorure, les électrodes s'usent aussi, quoique un peu moins.

Ainsi, de quelque nature que soit au fond la réaction, elle doit se traduire par les mêmes phénomènes, et les conclusions qu'on a voulu tirer des faits observés sont illusoires.

Il faut remarquer que le procédé Héroult s'est peu à peu modifié. A l'origine, on marchait à 36 volts, en faisant des alliages avec le cuivre ou le fer et en ajoutant peu de cryolithe. Les conditions se rapprochaient alors de celles du procédé Cowles : il sortait de l'appareil de véritables flammes, preuves de la formation d'oxyde de carbone; il est probable qu'alors l'alumine se réduisait réellement par le charbon de l'électrode. Depuis, on a augmenté graduellement la proportion de cryolithe et diminué la tension pour faire de l'aluminium pur. A 25 volts, il ne se dégage plus de flammes, le charbon reste lumineux, probablement parce que l'oxygène qui se dégage autour le brûle lentement et qu'à une température modérée il donne plutôt de l'acide carbonique. Aujourd'hui, on descend, paraît-il, à 10 ou 15 volts et même au-dessous : les conditions du traitement, tel qu'il se pratique après les transformations successives opérées par M. Kiliani, ne diffèrent presque plus de celles du procédé Minet, que nous allons décrire, et il ne paraît pas douteux que l'électrolyse de la cryolithe y joue maintenant le rôle principal.

Procédé Minet. — Le procédé Minet commence seulement à recevoir son application industrielle. Son principal intérêt réside dans la précision avec laquelle ce savant a déterminé les conditions pratiques de l'électrolyse des sels d'alumine. Avant d'exposer ses recherches, je commencerai par rappeler les lois fondamentales de l'électrolyse, qui s'appliquent aussi bien au cas d'un sel fondu qu'à celui d'une dissolution aqueuse.

Lois générales de l'électrolyse. — 1° Le poids de métal mis en liberté est proportionnel à la quantité d'électricité qui passe. Il peut se calculer de la manière suivante. Une quantité d'électricité égale à 96512 coulombs (c'est-à-dire un cou-

rant d'un ampère agissant pendant une seconde) met en liberté, sur l'anode, un poids en grammes égal à un équivalent du corps électro-négatif (oxygène, chlore, fluor, etc.) On appellera formules électrochimiques celles qui comprennent un équivalent du corps électro-négatif, par exemple



$$NaCl, \quad FeCl, \quad Al^{\frac{2}{3}}Cl, \quad \text{etc.}$$

et équivalents électrochimiques, les poids de métal qui y figurent :



$$Na, \quad Fe, \quad Al^{\frac{2}{3}}.$$

(Cet équivalent serait égal à 9,1 pour l'aluminium.)

2° Pour que la décomposition ait lieu, il faut une force électromotrice minima, qui est liée à la chaleur de formation du corps électrolysé. Si l'on appelle C cette chaleur de formation rapportée au poids exprimé en grammes par la formule électrochimique, la force électromotrice e sera donnée en volts par la formule

(1) $$e = 0{,}04355\ C.$$

3° Si l'on appelle E la force électromotrice totale développée par la machine, et I l'intensité, R la somme des résistances dans chaque partie du circuit, le travail développé pendant une seconde, exprimé en kilogrammètres, est égal à $\frac{EI}{g}$; celui qu'absorbent les résistances est égal à $\frac{RI^2}{g}$, celui qui effectue la décomposition est $\frac{eI}{g}$, et on a la relation générale

(2) $$E = RI + e.$$

Si l'on appelle ρ la résistance du bain, et ε la différence de potentiel à l'entrée et à la sortie, on aurait de même

(3) $$\varepsilon = \rho I + e.$$

Rendement. — La question du rendement est complexe et a donné lieu à des discussions confuses parce que ce mot n'a pas toujours été rigoureusement défini.

Nous appellerons rendement en poids (ou rendement tout court) le rapport entre la quantité de métal dégagée et le travail dépensé. Le rendement théorique, que j'appellerai π, peut se déduire des formules précédentes. Le poids p déposé pendant l'unité de temps est proportionnel à I. Le travail dépensé est proportionnel à EI. Ce rendement est donc proportionnel à $\frac{I}{E}$; il sera donc d'autant plus grand que E sera plus petit. E doit être au moins égal à e : plus il s'en rapprochera, plus le rendement s'approchera de son maximum.

Mais, d'autre part, la production absolue, le poids de métal, variera comme I, et deviendra nul si $E = e$ puisque $I = \frac{E - e}{r}$. Ainsi, à mesure que le rendement augmente, la production absolue diminue.

L'effet utile, au point de vue mécanique, est le rapport entre le travail employé à la décomposition $\frac{eI}{g}$ et le travail total $\frac{EI}{g}$; il est donc égal à $\frac{e}{E}$, et il varie comme le rendement en poids. L'effet utile sera donc d'autant plus grand que la force électromotrice E se rapprochera davantage de son minimum e; mais la production absolue diminuera quand l'effet utile augmentera.

Si l'on s'impose la condition de produire un poids déterminé par jour, I doit être une constante : E sera fixé par la formule

$$E = rI + e.$$

Pour diminuer E et augmenter l'effet utile, il faut donc diminuer r, c'est-à-dire la résistance du bain et du circuit. C'est le moyen de diminuer la quantité de travail absorbée par les résistances passives, et qui est proportionnelle à rI^2.

Toutefois on ne peut pas diminuer r au delà d'une certaine limite. Les dépenses de premier établissement croîtront avec la surface des électrodes, la section des conducteurs. D'ailleurs,

il faut tenir compte des conditions de marche de la dynamo. Pour une machine donnée, le débit maximum et les conditions les plus avantageuses s'obtiennent quand la résistance extérieure (circuit et bain) est dans un certain rapport avec la résistance intérieure. Ces différentes considérations imposeront un certain minimum à r et par suite un maximum au rendement.

Supposons maintenant r fixe, c'est-à-dire un bain de dimensions déterminées; si l'on fait varier la marche de la machine, l'intensité I croîtra avec la force électromotrice E, suivant la relation $I = \frac{E - e}{r}$.

Le rendement dépendra de l'intensité I, et variera comme $\frac{1}{E}$. Ainsi, pour un bain donné, on obtiendra un rendement d'autant meilleur qu'on emploiera des courants plus faibles, mais aussi la production absolue diminuera. Dans la pratique, il y aura à établir une balance entre ces deux considérations. Si la force motrice coûte cher, il y aura avantage à diminuer l'intensité du courant pour se rapprocher de l'effet utile maximum. Si au contraire elle est peu coûteuse, comme dans le cas de l'emploi des forces naturelles, il pourra être préférable d'augmenter la production pour diminuer l'importance des frais fixes, et par suite d'employer des courants plus intenses.

Si l'on pouvait faire varier la force contre-électromotrice e, sans modifier la résistance r, le rendement d'une machine déterminée deviendrait fonction de la variable e : il aurait un maximum qu'on peut calculer.

Supposons qu'on emploie une machine donnant une force totale E constante, que e varie et que r reste fixe; le travail utile eI aura pour expression $\frac{e(E - e)}{r}$. La somme de ces deux facteurs (e, $E - e$) est constante par hypothèse : le maximum du produit aura donc lieu quand les deux facteurs seront égaux, c'est-à-dire pour $e = \frac{E}{2}$. L'effet utile $\frac{e}{E}$ sera alors égal à 50 pour 100.

Il faut bien comprendre la signification de cette règle, qui,

posée par certains auteurs et contestée par d'autres, a donné lieu aux discussions les plus confuses. Elle ne s'applique qu'au cas théorique où E est constant ainsi que r, e seul étant variable. Elle ne correspond donc pas à un maximum absolu de l'effet utile; si, partant du régime ainsi défini, on diminuait E, on aurait un effet utile théorique supérieur; mais le travail total fourni deviendrait plus faible. Il en serait de même si l'on augmentait e : l'intensité I diminuerait et l'effet utile s'accroîtrait, par la diminution, à la fois du travail moteur et du travail absorbé.

Comme, en pratique, une dynamo ne peut pas marcher avantageusement à une différence de potentiel trop faible, qu'elle est faite pour utiliser un travail moteur déterminé, on a intérêt à lui demander le maximum absolu de travail utile. Il semble bien que l'expérience confirme ce principe et qu'en fait les meilleurs résultats pour l'électrolyse soient obtenus quand on se rapproche de la condition $e = \frac{E}{2}$.

Quand on opère sur un seul bain, on ne peut modifier e, qui est une constante dépendant de la réaction chimique qu'on veut produire; d'ailleurs, les valeurs ordinaires de cette constante sont faibles, et l'on ne pourrait faire marcher des dynamos puissantes à si basse tension. Aussi place-t-on généralement plusieurs bains dans le circuit. On a alors un moyen de faire varier la force contre-électromotrice totale, en modifiant le nombre des bains.

Avec n bains en tension, la formule fondamentale devient

$$E = rI + ne.$$

On devrait donc prendre pour n, d'après le principe précédent, le nombre entier le plus voisin de $\frac{E}{2e}$.

Toutefois, ceci ne sera vrai, ne l'oublions pas, que si r reste constante. Mais $r = r' + n\rho$, en appelant r' la résistance du circuit extérieur, et ρ celle de chaque bain. Si donc on veut augmenter le nombre n sans faire varier r, il faudra diminuer ρ, et pour cela accroître la surface des électrodes propor-

tionnellement au nombre des bains en tension. Au lieu d'accroître cette surface, on peut, ce qui revient à peu près au même, placer plusieurs bains en dérivation.

Tout ce que nous avons dit jusqu'à présent s'applique au rendement théorique. Nous avons supposé que pour un courant d'intensité I, le poids de métal déposé p_1 était égal à kI, (k étant l'équivalent électrochimique). En pratique, on n'obtiendra qu'un poids plus faible, p. Ainsi, pour avoir le rendement réel, il faudra affecter le rendement théorique d'un coefficient $m = \frac{p}{p_1}$, que l'expérience seule peut faire connaître. J'appellerai ce coefficient le *rendement électrolytique*.

Les causes qui réduisent le rendement électrolytique ne sont pas toutes bien connues. Elles se rattachent au phénomène de la polarisation, et dépendent de beaucoup de réactions accessoires. Pour en diminuer l'importance, il faut éviter autant que possible de provoquer des décompositions inutiles (par exemple, celle de l'eau dans l'électrolyse des dissolutions salines, celle des fondants dans l'électrolyse par fusion ignée). Il faut donc éviter des tensions trop fortes.

Le rendement dépend aussi de l'état physique du bain : il doit être bien fluide. A ce double point de vue, il est essentiel que sa composition reste constante, car si elle vient à varier pendant l'opération, les réactions chimiques comme le degré de fluidité pourront changer.

Enfin, l'expérience indique une règle importante à ce sujet : pour que l'opération se fasse dans de bonnes conditions, et que les pertes ne soient pas trop grandes, il ne faut pas dépasser une certaine densité de courant à l'anode, c'est-à-dire que celle-ci doit avoir une surface minima par ampère-heure reçu. Si l'on dépasse la densité limite du courant, la force électromotrice nécessaire augmente rapidement dans de fortes proportions.

En résumé :

p étant le poids de métal réellement obtenu; $p_1 = k$I le poids qu'on devrait obtenir théoriquement pour une intensité I;

$T = \frac{EI}{g}$ le travail développé, $t = \frac{ei}{g}$ le travail absorbé par la décomposition,

Le rendement théorique est $\pi = \frac{P_1}{\frac{EI}{g}}$ et l'effet utile théorique $\frac{e}{E} = \frac{t}{T}$. Ils augmenteront à mesure qu'on diminuera E et par conséquent I, mais la production variera en sens inverse. Le rendement réalisable sera d'autant plus grand que la résistance du bain r sera plus faible. L'effet utile théorique ne paraît pas pouvoir dépasser beaucoup 50 pour 100 dans les conditions ordinaires, à cause des limites imposées à la résistance.

Le rendement électrolytique sera le rapport $\frac{p}{p_1} = m$. Il sera d'autant meilleur que l'on évitera mieux les causes de polarisation et les réactions accessoires nuisibles : pour cela, il faut réduire la force électromotrice E au minimum pratique, et maintenir constante la composition du bain.

Application aux sels d'alumine. — Nous allons maintenant indiquer les règles pratiques auxquelles M. Minet est arrivé, pour l'électrolyse des composés de l'aluminium.

Composition du bain. — Il fallait d'abord déterminer la composition à donner au bain pour le rendre suffisamment fluide et stable. Le chlorure et le fluorure d'aluminium sont tous les deux trop volatils. Le chlorure double d'aluminium et de sodium l'est aussi : son électrolyse se fait d'une façon irrégulière, parce qu'on ne peut arriver à le rendre bien fluide sans approcher de la température à laquelle il se volatilise : le bain émet des vapeurs corrosives et s'altère rapidement. Le fluorure double d'aluminium et de sodium est plus stable; en l'additionnant de chlorure de sodium, on augmente la fluidité. Le meilleur mélange correspondrait à peu près à la formule



$$6NaCl + Al^2Fl^3, 3NaFl,$$

c'est-à-dire 60 à 65 de sel marin pour 30 à 35 de cryolithe. Ce mélange fond à 700° et devient très fluide à 800; il ne commence à émettre des vapeurs qu'à 1050°. Sa densité est de 1,76, assez faible pour que l'aluminium se rassemble bien.

Pendant l'électrolyse, le bain s'appauvrit en fluorure d'aluminium. Au bout de peu de temps, les sels de soude venant à dominer, on obtiendrait du sodium métallique. Pour maintenir la composition constante, le meilleur moyen est de charger près de l'anode de l'alumine, qui est attaquée par le fluor dégagé et régénère du fluorure. Il faut ajouter aussi une certaine proportion de cryolithe pour réparer les pertes en fluorure (10 pour 100 environ). On peut remplacer une partie de la cryolithe par de l'oxyfluorure obtenu en arrosant l'alumine d'acide fluorhydrique. M. Minet recommande d'alimenter avec le mélange suivant :

Alumine hydratée..........	$6(Al^2O^3 2HO)$	= 416
Cryolithe..................	$Al^2Fl^3, 3NaFl$	= 210
Oxyfluorure................	$Al^2Fl^3 3Al^2O^3$	= 238

Pour surveiller la composition du bain, il suffit de faire de temps en temps une prise d'essai qu'on traite par un certain poids d'eau. Le chlorure de sodium se dissout à peu près seul, et, si son poids n'excède pas $\frac{1}{10}$ de celui de l'eau, en prenant la densité de la solution, on peut calculer sa teneur en chlorure, x, par la formule

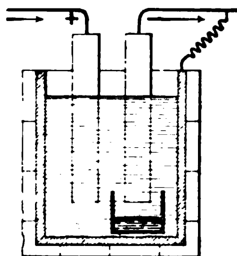
$$d = 1 + 0,75x.$$

Connaissant la teneur en chlorure du bain, on aura par différence la proportion de fluorure.

On consomme par kilogramme de métal 2^{kg} d'alumine anhydre et $1^{kg},5$ de fluorure. Ces quantités correspondent à peu près à $1^{kg},25$ d'aluminium. On recueille donc 60 pour 100 du métal contenu dans les matières premières. Pour fabriquer l'aluminium pur, on emploie le fluorure et l'alumine artificiels : pour le ferro-aluminium, on emploiera la bauxite et la cryolithe.

Appareils employés. — Les expériences d'essai se sont faites dans des cuves en fonte; pour protéger ce métal contre l'attaque par le fluorure, on relie les parois de la cuve au pôle négatif, au moyen d'un fil sur lequel on place une résistance suffisante, de manière que l'intensité du courant dérivé qui y passe n'excède pas 5 à 10 pour 100 de l'intensité totale. Dans ces conditions, les parois se recouvrent d'une mince

Fig. 9.



couche d'aluminium réduit par ce courant dérivé; le fer n'est plus attaqué dans des proportions sensibles.

La cuve, qui a 20^{cm} à 40^{cm} de longueur, est revêtue à l'extérieur de briques réfractaires et chauffée à une température de 900° à 1100°.

Les électrodes sont formées par deux plaques de charbon aggloméré. Quand on fabrique du ferro-aluminium, on peut employer des plaques de fer. Au-dessous de la cathode, qui est un peu moins longue, se trouve une petite cuvette en charbon, où se rassemble l'aluminium fondu. Quand on emploie de grandes intensités de courant, on place une anode de chaque côté de la cathode.

Le charbon des électrodes s'use par suite du dégagement d'oxygène; cependant on en consommerait moins de 1^{kg} par kilogramme d'aluminium. Cette différence avec les résultats accusés pour le procédé Héroult pourrait tenir à l'intensité plus faible du courant. Théoriquement, 100 d'alumine contenant 46,7 d'oxygène, la décomposition de 1^{kg} d'alumine correspondrait à la combustion de 360^{gr} de charbon (à l'état de

CO), c'est donc une usure de 700gr à 800gr qu'on devrait avoir. Le surplus doit provenir de désagrégations mécaniques, peut-être d'un phénomène analogue au transport qui s'opère dans l'arc voltaïque d'une électrode à l'autre.

Conditions de marche. -- La force électromotrice minima nécessaire pour produire la décomposition est d'environ 2volts,40 à la température de 990°; elle diminue légèrement quand la température augmente; elle se réduit à 2volts,17 à 1100°. La résistance du bain décroît aussi d'après la formule

$$\rho = 0{,}0143 - 0{,}000011\,t.$$

Il y a donc intérêt à augmenter la température, mais il ne faut pas dépasser 1100°, à cause de la volatilité du fluorure.

On marche avec une différence de potentiel de 4 à 6 volts entre les deux électrodes. L'intensité du courant peut aller jusqu'à 1 ampère par centimètre carré de surface de l'anode, 2,5 ampères pour la même fraction de surface de la cathode.

La quantité d'aluminium qui pourrait être déposée théoriquement par ampère-heure serait de 0,34. Le rendement électrolytique, c'est-à-dire la fraction de ce poids qui se dépose réellement par ampère-heure, varie de 50 à 60 pour 100 et augmente (dans les limites indiquées pour les conditions de marche) avec l'intensité du courant. Avec des électrodes en fer, le rendement peut atteindre 80 pour 100. Cette amélioration s'expliquerait parce que le métal glisse sur la cathode et se rassemble plus vite dans le creuset : il échappe donc à l'action du fluor mis en liberté dans le bain. Mais on obtient alors de l'aluminium ferreux.

La production par cheval-heure a atteint, dans les essais, 25gr et même 40gr quand on faisait de l'aluminium ferreux.

La force de décomposition étant de 2volts,14 : l'effet utile $\frac{eI}{EI}$ est de 35 pour 100 environ quand on marche à 6 volts, et il ne semble pas qu'il puisse dépasser en pratique 50 pour 100. Le rendement mécanique absolu (produit de l'effet utile par

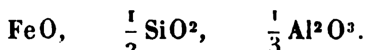
le rendement électrolytique) ne dépassera donc pas 30 pour 100.

On ne connaît pas bien la chaleur de décomposition des fluorures. M. Minet l'évalue à 73 calories : d'après cela, c'est 120^{gr} par cheval-heure qu'on devrait obtenir si tout le travail était utilisé pour la décomposition. M. Minet pense qu'on en obtiendrait environ 50 en marchant à 4 volts seulement. Dans les expérences pratiques, on en a obtenu de 20 à 30. C'est-à-dire que le rendement mécanique total est de 15 à 25 pour 100.

Électrolyse fractionnée. — L'électrolyse fournit un moyen théorique parfait de réaliser des séparations par traitement fractionné. La force électromotrice minima nécessaire pour la réduction de chaque élément n'est pas la même : si l'on connaît la chaleur de formation d'un composé, *c*, la force électromotrice capable de le dissocier sera donnée par la formule

$$e = 0,0435\, c,$$

la chaleur *c* étant rapportée à un poids tel qu'il contienne en grammes un équivalent du corps électronégatif, par exemple, au nombre de grammes exprimé par les formules



$$FeO, \quad \frac{1}{2} SiO^2, \quad \frac{1}{3} Al^2O^3.$$

Si l'on soumet successivement un bain à l'action de forces électromotrices croissantes, on pourra en isoler, l'un après l'autre, les différents métaux dans l'ordre inverse de leurs affinités chimiques. La force minima, pour la réduction des fluorures, serait, d'après M. Minet, 0,75 pour le fer, 1,37 pour le silicium, 2,15 pour l'aluminium. On pourrait donc recueillir ces trois corps isolément.

En pratique, les choses ne se passent pas si régulièrement : les périodes de dépôt de chaque corps empiètent les unes sur les autres, et l'on obtient une série d'alliages, comme le montre l'expérience suivante de M. Minet :

Métal déposé.	Force électromotrice. volts
Fer	0,54
Fer (traces de silicium)	0,75
Ferro-silicium	1,37
» (avec traces d'aluminium)	1,54
Silico-aluminium (traces de fer)	1,74
Aluminium (traces de silicium)	2,15
Aluminium pur (traces de sodium)	2,50

Ainsi on peut, en traitant une alumine impure, voire même une bauxite brute, extraire successivement plusieurs produits divers, tous susceptibles d'applications : 1° du ferro-silicium; 2° un alliage riche de silicium et d'aluminium avec un peu de fer; 3° de l'aluminium siliceux, exempt de fer; 4° de l'aluminium pur.

Les deux premiers produits peuvent être employés dans la métallurgie du fer, pour l'affinage de l'acier et pour l'amélioration des fontes de moulage ; le troisième conviendrait tout spécialement pour la fabrication des aciers sans soufflures; M. Minet a montré qu'on pouvait en tirer un grand parti pour les constructions, et qu'il serait même préférable à l'aluminium pur au point de vue mécanique.

Si ces alliages trouvent un débouché facile, on pourra donc préparer l'aluminium pur en partant de matières premières siliceuses et ferreuses. Quelle sera la quantité relative qu'on extrairait à cet état en traitant des bauxites brutes ? l'expérience peut seule le montrer.

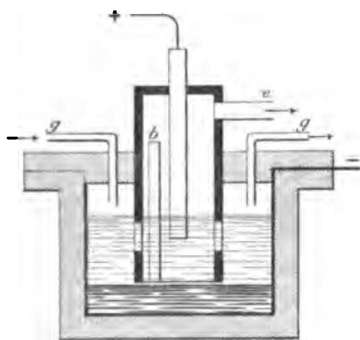
On remarquera que, par sa facile réduction, le fer se sépare mieux et plus vite que le silicium. Si donc on a en vue la production de l'aluminium pur, on aura avantage à choisir plutôt des alumines ferrugineuses, mais exemptes de silice. A ce point de vue, le traitement de la bauxite par l'acide sulfurique offrirait peut-être de l'intérêt.

Procédés divers. — Parmi les différents appareils brevetés pour l'électrolyse des chlorures ou des fluorures fondus, plusieurs offrent des dispositions intéressantes ayant pour but de soustraire le métal réduit au contact des gaz qui se déga-

gent à l'anode et d'éviter ainsi les réactions accessoires qui tendent à limiter le rendement.

L'appareil Graetzel se compose d'un creuset couvert en métal servant de cathode : dans ce creuset plonge un cylindre en porcelaine qui contient une anode en charbon (*fig.* 10). Le cylindre est percé à sa partie inférieure d'ouvertures latérales permettant au bain d'y pénétrer. On a ainsi deux vases com-

Fig. 10.



g, *g*, courant de gaz neutre. — *b*, cylindre d'alumine pour alimenter le bain. *e*, échappement de gaz à l'anode.

muniquants, et chaque électrode se trouve isolée sous une espèce de cloche à gaz. Sous le couvercle du creuset, c'est-à-dire dans la cloche qui couvre la cathode, on fait circuler un gaz réducteur : la cloche couvrant l'anode se remplit des gaz dégagés (chlore, fluor, oxygène) qui s'échappent par un tuyau à sa partie supérieure.

Le cylindre ne se prêtant pas à l'alimentation continue du bain, on y dispose d'avance des baguettes d'alumine agglomérée avec du charbon.

Dans l'appareil Omlot, Bottiger et Seidler (employé à Crosnitz ?), les électrodes sont toutes constituées par des blocs de charbon : elles sont isolées par des moufles en terre réfractaire garnis de charbon, qui plongent dans le bain, et dont le fond est percé.

Il n'est pas démontré, jusqu'à présent, que ces dispositifs un

peu compliqués augmentent en pratique le rendement d'une façon notable : ils doivent à coup sûr rendre plus difficiles certaines parties du travail, comme l'alimentation du bain, le réglage de la distance des électrodes; les dépenses de main-d'œuvre et d'usure du matériel doivent y être plus fortes que dans les cuves ordinaires.

Le procédé Rogers, appliqué dans le Wisconsin, et tenu secret, consiste, dit-on, dans l'électrolyse du fluorure double, mais avec addition de plomb fondu à la cathode. Ce métal rassemblerait l'aluminium et diminuerait les causes de perte. On le séparerait ensuite par liquation. Je doute que cette séparation puisse être complète. Les chiffres cités pour le rendement ne paraissent pas du reste sensiblement supérieurs à la moyenne.

D'autres inventeurs ont cherché à économiser l'emploi des sels de soude. Ils soumettaient à l'électrolyse des bains composés de chlorure ou de fluorure de calcium, auxquels on incorporait l'alumine ou le fluorure d'aluminium. On réalise une certaine économie sur les matières premières; mais ces bains ont l'inconvénient d'avoir une trop grande densité : l'aluminium surnage au lieu de se rassembler au fond ; il est plus difficile de le recueillir et de le soustraire à l'attaque des gaz dégagés. Les rendements sont donc médiocres.

Le procédé Hall, employé à Pittsburg en Amérique, et près de Manchester, consistait à l'origine dans l'électrolyse du fluorure d'aluminium mélangé au spath fluor; mais il a, paraît-il, été modifié, et aujourd'hui on rend le bain plus fluide et plus léger en ajoutant aussi des fluorures alcalins. La réduction se fait dans des creusets en plombagine où plongent les électrodes.

Plusieurs brevets ont été pris pour l'électrolyse du chlorure double d'aluminium et de sodium, parfois additionné d'autres chlorures comme fondants (magnésium, potassium). Dans les appareils les mieux étudiés (Daniel, Douglas-Dixon), le chlore dégagé était dirigé sur un mélange d'alumine, de charbon et de sel marin, pour servir à la préparation du chlorure double.

Ces procédés ne paraissent plus offrir d'intérêt industriel,

car il semble bien démontré que les fluorures se prêtent mieux à l'électrolyse et qu'ils peuvent s'obtenir à meilleur marché. Leur traitement sera donc, à moins de découvertes nouvelles, la base de la métallurgie de l'aluminium, et il se fera sans doute partout, suivant des formules analogues à celle qui a été si bien étudiée par M. Minet.

Fabrication des électrodes. — La fabrication des charbons d'électrodes est une annexe importante de tous ces procédés; car leur usure peut devenir une cause de dépense sérieuse s'ils ne sont pas bien préparés.

Le bloc de charbon doit être aussi compact que possible, ce qui augmente sa solidité et son pouvoir conducteur. Il faut employer des matières très pures, exemptes de silice et d'oxyde de fer, car ces corps étrangers passeraient dans l'aluminium. On se sert de charbon de bois pilé, de graphite naturel, ou de charbon de cornues. Ces derniers produits conviennent très bien au point de vue de la conductibilité, mais ils contiennent presque toujours une certaine proportion de cendres siliceuses. Le coke peut être, après broyage, lavé à l'acide, pour enlever le sulfure de fer. Le charbon de bois est le meilleur au point de vue de la pureté. Ses cendres alcalines n'offrent pas d'inconvénient.

Le charbon réduit en poudre est malaxé avec du goudron, de manière à former une pâte liante ; cette pâte est moulée et comprimée : le bloc obtenu est cuit à haute température pour éliminer complètement les matières volatiles.

Il faut broyer très fin, et comprimer énergiquement pour avoir un bloc compact et bien conducteur. A Froges, le charbon de cornues est d'abord concassé dans un broyeur à mâchoires, puis pulvérisé sous des meules : la poudre obtenue est soumise au blutage, et c'est la farine impalpable qui sert à fabriquer l'électrode.

Cette farine est malaxée sous des meules, munies de racloirs, et recevant par l'axe un courant continu de goudron liquide : on en forme une pâte contenant 30 pour 100 de goudron. (Cette proportion me paraît bien forte?) A Creil, le charbon pulvérisé était malaxé avec du brai et de l'alumine.

La compression peut se faire de différentes manières. A Froges, on pilonne la pâte dans un cadre en fonte; on en forme un parallélipipède qu'on lamine entre des cylindres, de manière à lui donner 15^{cm} d'épaisseur sur 25^{cm} de large et 1^m de long.

Le cylindrage ne peut donner une pression suffisante que sur une faible épaisseur. Pour avoir de gros blocs on est obligé de réunir plusieurs lames dont l'adhérence laisse souvent à désirer. Il est préférable de les faire d'un seul morceau; pour obtenir une compression régulière sur une grande masse, il faut employer la presse hydraulique.

A Creil on comprimait ainsi, dans des moules en fonte, des blocs ayant la forme de prismes trapézoïdaux tronqués rétrécis vers le bas; cette forme augmente la pression sur la partie inférieure, à laquelle l'effort de la presse ne se transmet pas tout entier dans un moule à parois verticales. Chaque prisme avait une longueur horizontale suffisante pour donner trois électrodes, qu'on y découpait avec une cisaille tranchante. Il vaudrait peut-être mieux comprimer isolément chaque électrode : pour accélérer le travail, il suffirait d'avoir plusieurs moules réunis dans un bloc de fonte, où pénétreraient à la fois plusieurs pistons poussés par la presse. C'est ce qui se fait dans la machine à agglomérer la houille du système Révollier, et l'expérience a montré que ce système était supérieur à celui qu'on avait essayé d'abord et qui consistait à comprimer d'un seul coup un gros bloc pour le découper ensuite.

La cuisson doit se faire progressivement et durer plusieurs jours pour éviter des fissurations. A Froges, les dalles de charbon aggloméré sèchent d'abord pendant deux ou trois jours à l'air libre sur des feuilles de tôle, puis elles passent quatre jours dans une étuve chauffée à 150°. Enfin on les place dans des auges en fonte remplies de poussier de charbon et on les charge ainsi dans le four de cuisson où elles passent quatre ou cinq jours.

La longueur de ces opérations est peut-être motivée en partie par la forte proportion de goudron à éliminer.

On pourrait recommander pour cette fabrication l'emploi

d'un procédé qui a été essayé à Saint-Étienne pour les agglomérés et qu'on a appliqué aussi aux briques de graphite. Il consiste à cuire les blocs enfermés dans des formes en fonte ou en tôle hermétiquement closes et pouvant supporter une certaine pression. Le goudron se volatilise lentement en traversant les fissures des joints et développe à l'intérieur de la forme une pression considérable. On obtient ainsi des produits très solides. Ces moules ne rougissent que lorsque la calcination est achevée. On peut donc suivre l'état d'avancement de la cuisson, qui, se faisant sous pression, peut être menée plus rapidement.

Je crois aussi qu'avec un malaxage perfectionné, on devrait réduire la proportion de goudron à 10 ou 15 pour 100. On pourrait faire passer la pâte dans des cylindres traversés par des arbres à ailettes, comme les malaxeurs employés dans la fabrication des agglomérés.

A Froges, on a d'abord employé des électrodes de 1^m de long pour diminuer le déchet; puis on a trouvé qu'elles se brisaient souvent et l'on a réduit la longueur à $0^m,50$, en sciant le bloc en deux après cuisson. Il est plus simple de couper la pâte avant de la cuire, comme à Creil, mais le mieux serait sans doute de comprimer et de cuire isolément chaque électrode dans son moule.

Une électrode ne reste guère en service plus de vingt-quatre heures ; les morceaux sont ensuite repassés au broyage. La partie plongée dans le bain se désagrège; celle qui se trouve immédiatement au-dessus est exposée à brûler au contact de l'air. Pour l'éviter, on l'arrose de cryolithe fondue puisée dans le bain ; cette substance se fige sur le charbon et l'entoure d'un enduit protecteur.

Situation et importance des principales usines. — L'usine de Neuhausen, établie près de la chute du Rhin, dispose d'une force hydraulique de 4000 chevaux (20^{mc} par seconde sur 20^m de hauteur). La conduite qui dessert les turbines ne débite que la moitié de l'eau disponible, 10^{mc} par seconde ; elle a 60^m de long et $2^m,50$ de diamètre intérieur; elle est en tôle de 8^{mm} d'épaisseur. Trois turbines du système Jonval y

sont branchées, deux de 600 chevaux chacune, la troisième de 300. Les induits des dynamos (système Brown) sont montés directement sur les arbres verticaux des turbines. Pour soulager le pivot de cet arbre, on équilibre le poids par la pression hydraulique : l'arbre porte un piston pouvant tourner dans un cylindre qui communique par le bas avec le tuyau d'arrivée de l'eau et par le sommet avec le bief de décharge.

Les dynamos marchent à une vitesse de 150 à 200 tours et donnent une tension de 30 volts ; elles peuvent donner, à elles trois, 35000 ampères. Ces machines ont, dit-on, un fonctionnement très régulier : la disposition verticale rend les pièces faciles à visiter et à remplacer ; elle offre aussi cet avantage que la limaille des balais, placée au-dessous de l'induit, ne peut tomber sur les pièces en mouvement.

La force de production maxima de cette usine, d'après les chiffres ci-dessus, serait de 250 à 300 tonnes par an. En 1890 elle produisait 200^{kg} seulement par jour. (On annonce actuellement une production journalière de 1000^{kg}.)

L'usine de Froges (Isère) est alimentée par une conduite dont le débit correspond à 800 ou 1000 chevaux. Son outillage est assez analogue à celui de Neuhausen. Elle possède trois turbines, faisant une force totale de 700 chevaux. Le personnel est de 28 ouvriers; elle produit environ 100^{kg} par jour; sa production maxima serait de 60 tonnes par an.

L'usine de Saint-Michel, récemment fondée près de Modane pour exploiter le procédé Minet, dispose d'une force hydraulique considérable. Le canal d'amenée peut donner 6000 chevaux (4000 effectifs). Le tube alimentant les turbines peut en donner 1000. Il n'y a encore en marche qu'une turbine de 300 chevaux : l'usine pourrait donc produire 30 à 40 tonnes par an.

L'usine de Pittsburg, aux États-Unis, marche à la vapeur; mais tout le chauffage s'y fait au gaz naturel, condition très économique qui permet de lutter avec les usines hydrauliques. La force totale des machines est de 500 chevaux, 4 dynamos du système Westinghouse fournissent le courant : les deux plus grandes donnent 2500 ampères à 50 volts, avec une vitesse de 325 tours; les deux autres donnent 1000 ampères

à 25 volts ; leur vitesse est de 1060 tours. L'électrolyse se fait dans sept creusets en fer brasqués. La production est de 170^{kg} par jour : elle s'approche donc du maximum théorique, qui, eu égard à la force disponible, serait de 70 à 80 tonnes par an. Cette usine doit, dit-on, être agrandie de manière à produire 4 ou 5 tonnes par jour (?). Cela supposerait un développement subit bien considérable.

Le procédé Cowles est employé en Amérique à l'usine de Lockport, près New-York, et en Angleterre à Milton. L'usine américaine possède une chute de 1000 chevaux, avec une machine de 500 ; elle comprend 14 fours, et produit de 100 à 150^{kg} d'aluminium par jour (sous forme d'alliages). L'usine anglaise marche à la vapeur : elle possède une machine de 600 chevaux et 12 fours.

Il existe en outre trois autres usines électriques sur lesquelles je n'ai pas trouvé de documents précis. Celle d'Hemelingen, en Allemagne (près de Brême), est une des premières qui ait produit de l'aluminium. Elle employait à l'origine le procédé Graetzel. Une usine de Londres exploitait le procédé Kleiner en 1890 (?). Dans l'état de Wisconsin, une usine, située à Milwaukee, exploite un procédé Rogers, qui est tenu secret.

Pour les six usines dont nous connaissons à peu près la consistance, la production totale maxima serait de 500 tonnes environ par an. La production réelle est plus faible, et n'a pas dû dépasser 200 tonnes en 1891. En y joignant les autres usines, il est douteux que la capacité de production de tous les établissements qui existent aujourd'hui dépasse 600 à 700 tonnes.

AFFINAGE DE L'ALUMINIUM.

Il serait très important de pouvoir affiner l'aluminium ordinaire. Mais, à ce point de vue, l'industrie ne semble pas avoir fait de progrès, et je ne connais que les essais relatés par Sainte-Claire Deville.

Le métal brut retient des fragments de scorie, dont la présence diminue sa résistance aux actions atmosphériques. Elle est surtout nuisible quand il s'agit de fabriquer des alliages avec l'argent, parce que le contact des scories peut produire des fluorures ou des chlorures de ce métal. Pour en débarrasser l'aluminium, il faut le refondre et l'écumer soigneusement, en sacrifiant la partie supérieure du bain. Cette fusion se fait dans des creusets en graphite.

On ne connaît pas de procédé pour éliminer le silicium et le fer. Le meilleur mode de purification, d'après Sainte-Claire Deville, est de fondre l'aluminium sous une couche de nitre. Les creusets de terre seraient attaqués. Il faut opérer dans des creusets en fonte, où l'on a fait fondre du nitre une première fois pour oxyder légèrement la surface intérieure. On ne doit pas chauffer trop fort, car si le nitre atteignait la température où il se décompose, il se formerait de l'aluminate. On améliore ainsi le métal, sans l'épurer tout à fait.

On peut diminuer les proportions de fer et de cuivre, quand elles sont considérables, par une liquation à basse température. Il reste au fond du creuset une carcasse riche en métaux étrangers.

En pratique, il n'existe pas de procédé industriel pour affiner l'aluminium. Pour avoir du métal pur, il faut opérer sur des matières pures, dont la préparation présente de grandes difficultés. On peut aussi obtenir une partie du métal à un état de pureté suffisant, si l'on conduit les opérations de manière à concentrer les corps étrangers dans le reste. C'est ce qu'on fait dans le procédé Netto, par le traitement fractionné en deux ou trois réductions successives. On peut arriver au même résultat avec les procédés électrolytiques, en recourant à l'électrolyse fractionnée dont nous avons parlé plus haut. Mais le métal ainsi préparé reviendra toujours cher, à moins qu'on ne trouve des débouchés faciles et avantageux pour l'aluminium de qualité inférieure, qui constitue la plus grande partie des produits.

Tant qu'on n'aura pas trouvé un vrai procédé d'affinage, on sera loin d'avoir résolu le problème d'extraire l'aluminium de l'argile. Il faudra toujours recourir à des matières premières

pures et coûteuses. Les seuls minerais actuels de ce métal, la bauxite, le corindon, la cryolithe, sont loin d'être des substances communes : et encore ne sont-ils pas propres à la fabrication directe de l'aluminium, et doivent-ils subir une transformation ou une purification préalable, si l'on veut obtenir un métal de bonne qualité.

Ainsi, ce rêve scientifique fait par Sainte-Claire Deville, tirer un métal précieux d'une substance vulgaire et abondamment répandue dans la nature, est loin d'être réalisé malgré tous les progrès récents, et l'on ne peut même affirmer qu'il doive l'être jamais.

PRIX DE REVIENT.

D'après les chiffres donnés précédemment, il faut pour 1^{kg} de métal, $3^{kg},5$ à 4^{kg} de matière première, alumine et cryolithe ou fluorure; leur prix pouvant varier de $0^{fr},50$ à 1^{fr}, il en résulte une dépense de 2^{fr} à 4^{fr}. Il faut ajouter $0^{fr},40$ à $0^{fr},50$ pour l'usure des charbons d'électrodes.

La main-d'œuvre est d'un tiers à un quart de journée par kilogramme produit, soit environ 1^{fr}. La force motrice dépensée étant de 50 chevaux-heure, on devra compter, pour l'entretien des machines et les dépenses accessoires, 1^{fr}. Les frais de fabrication pourront donc varier, suivant les cas, de 4^{fr} à 6^{fr} par kilogramme. On pourrait économiser sur cette somme au moins 1^{fr}, si l'on parvenait à employer la bauxite brute au lieu de l'alumine artificielle.

Une des particularités de cette industrie, c'est la faible capacité de production des usines; il faut de grandes forces motrices et de vastes installations pour produire 100^{kg} par jour, aussi les frais généraux sont-ils très lourds. La société qui exploite les usines de Froges et de Neuhausen s'est fondée au capital de 10 millions, et ces deux établissements réunis peuvent à peine produire 200 tonnes par an. On voit qu'il faudrait un bénéfice de 3^{fr} par kilogramme pour servir seulement l'intérêt du capital.

On peut compter au moins 300000^{fr} pour l'installation d'une usine pouvant produire 30 tonnes par an; les frais d'amor-

tissement grèveraient donc le kilogramme de 1fr environ. Les autres frais généraux pourront atteindre 1fr ou 2fr, suivant l'importance de la production sur laquelle ils se répartissent. Le prix de revient total ne peut donc guère descendre au-dessous de 6fr à 8fr par kilogramme; le cours actuel semble devoir s'établir à 10fr par kilogramme de métal pur, et à 7fr ou 8fr pour l'aluminium siliceux ou ferreux [1]. Ce n'est que pour un métal très impur, extrait de bauxite brute, qu'on pourrait espérer voir descendre le prix au-dessous de 5fr.

La bauxite comme matière première, l'acide sulfurique et le spath fluor comme réactifs [2] pour fabriquer les produits intermédiaires, la force motrice comme agent principal; telles sont les ressources que réclame la métallurgie de l'aluminium.

La Provence et la vallée du Rhône possèdent de nombreuses carrières de bauxite. Les industries chimiques y sont déjà florissantes. D'ailleurs, la Savoie et le Dauphiné offrent de nombreuses chutes d'eau. Il est donc à espérer que cette industrie nouvelle trouvera dans le Midi de la France toutes les conditions favorables à son développement.

Comme l'a fait remarquer M. Minet, la France, qui vient bien après l'Allemagne et l'Angleterre pour la production des métaux, aurait tous les éléments nécessaires pour prendre le premier rang dans la fabrication de l'aluminium. Elle produit, en effet, aujourd'hui plus de bauxite que tous les autres pays réunis.

Il est regrettable de voir que ce minerai est le plus souvent traité à l'étranger. Non seulement la production de l'aluminium métallique en France est relativement faible, mais celui qu'on y fabrique y est fait en majeure partie avec de l'alumine importée d'Allemagne. Or, cette alumine est faite elle-même avec des bauxites expédiées de Marseille à Hambourg!

---

(1) L'usine de Neuhausen vend, dit-on, l'aluminium à 98 pour 100, 6fr,25 le kilogramme en ce moment (décembre 1891). On a annoncé qu'il se vendait à 2fr et moins en Amérique : ce prix me paraît absolument incroyable : peut-être s'agit-il de ferro-aluminium à faible teneur?

(2) Ces réactifs servent, comme nous l'avons vu, à préparer de l'acide fluorhydrique pour transformer une partie de l'alumine en fluorure et réparer les pertes de fluor.

Ainsi ce produit de notre sol fait le tour de la moitié de l'Europe pour revenir presque à son point de départ, après avoir enrichi l'industrie étrangère!

Il est à souhaiter que nous nous affranchissions de ce tribut. Je ne vois pas de raison pour que la fabrication de l'alumine ne s'organise pas dans le Midi sur une plus large échelle. La métallurgie de l'aluminium serait alors une industrie tout à fait nationale, et notre pays, qui en a été le berceau, pourrait en redevenir le siège principal.

(*A suivre.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU MÉMOIRE DE M. LE VERRIER.

(1re PARTIE).

PREMIÈRE PARTIE.

MÉTALLURGIE DE L'ALUMINIUM.

L'ŒUVRE SCIENTIFIQUE
DE M. EDMOND BECQUEREL [1].

LEÇON D'OUVERTURE,

PROFESSÉE AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, LE 15 JANVIER 1892,

Par M. J. VIOLLE.

Messieurs,

Les cours du Conservatoire des Arts et Métiers offrent à ceux qui ont l'honneur d'en être chargés un attrait tout spécial. Quelle satisfaction intime pour le professeur de voir groupés autour de sa chaire des auditeurs empressés, venant l'entendre spontanément après une journée de labeur, et sacrifiant au désir d'apprendre leurs heures de délassement ou de repos! Quels puissants auxiliaires que cette avidité de s'instruire, cette attention toujours en éveil! S'il est vrai que, pour porter des fruits, l'enseignement doit être une véritable collaboration de celui qui parle et de ceux qui écoutent, peut-on souhaiter un public dont les aptitudes répondent mieux à cette condition nécessaire?

En retour, le professeur a de grands devoirs. Ses efforts constants, son zèle d'être utile, il les dépensera sans compter, ne fût-ce que par respect pour l'auditoire. La difficulté consiste à savoir se plier aux délicates exigences d'un cours à la fois théorique et pratique, réclamant, avec une démonstration précise des principes mêmes de la Science, l'exposé lumineux

(1) Publié dans la *Revue scientifique*, t. XLIX, p. 353.

des merveilleuses applications qui en découlent. Il faut être exact sans emprunter à l'analyse mathématique ses précieuses ressources, et rester complet tout en évitant de se perdre dans l'infinité des détails techniques.

Lorsque enfin au talent didactique, à l'érudition profonde, s'ajoute l'investigation personnelle, lorsque, non content de rendre intelligibles les progrès accomplis par d'autres, celui qui enseigne attache son nom à des progrès nouveaux, ses leçons, devenant aussi des exemples, acquièrent une inappréciable valeur. Ce n'est plus seulement le vulgarisateur décrivant des régions déjà parcourues et les éclairant à la vive lumière de sa parole. C'est l'explorateur montrant les routes qu'il a lui-même tracées, et entraînant à sa suite un public impatient d'aller en avant, qui demande à être guidé autant qu'instruit.

Tel était M. Edmond Becquerel. La forte méthode du professeur et le travail fécond du savant s'unissaient en lui pour réaliser l'idéal du maître dans la plus haute acception du terme. Qui possédait mieux le secret d'élucider les théories les plus complexes de la Physique? Où trouver des modèles plus accomplis que dans ces leçons si pleines de faits, dont la sévère ordonnance était embellie par l'élégante simplicité de la forme? Mais, en même temps, quelle variété de recherches originales, quelle verdeur d'activité scientifique, s'exerçant de préférence sur les questions les moins étudiées, qu'excellait à résoudre la sagacité de son esprit, heureusement secondée par son habileté expérimentale!

Il eut la rare fortune d'appartenir à l'une de ces familles où la science et le travail sont héréditaires. Trois générations successives ont illustré le nom des Becquerel. C'est avec une juste fierté que, trop peu de temps avant sa mort, mon regretté prédécesseur voyait son fils s'asseoir à côté de lui à l'Académie, comme lui-même y avait siégé à côté de son père durant de longues années.

Reçu à l'École Normale et à l'École Polytechnique, M. Edmond Becquerel renonça au bénéfice de ce double succès pour se faire le disciple et l'aide de son père, dont il devait plus tard continuer l'enseignement au Muséum d'histoire naturelle. Après avoir été au début de sa carrière suppléant à la

Sorbonne, puis professeur à l'Institut agronomique, il fut nommé en 1852 au Conservatoire, où quarante années d'inestimables services attestèrent son infatigable dévouement. Il occupait la chaire créée par Pouillet avec tant d'éclat.

Physicien de premier ordre, dont les travaux sur les lois des courants, sur la chaleur solaire, sur la pyrométrie, sont demeurés justement célèbres, Pouillet était, en outre, un professeur incomparable, un véritable orateur scientifique.

M. Becquerel resta fidèle à ces nobles traditions, et se distingua par des qualités très personnelles. Son éloquence, où dominaient l'ordre et la clarté, se plaisait surtout à faire parler l'expérience. Ses investigations patientes et hardies prirent tour à tour pour objet les phénomènes alors si obscurs de l'électricité et du magnétisme, les manifestations les moins connues et les plus variées de la radiation.

Pouillet et Becquerel, ces deux noms résument l'histoire de la chaire de Physique au Conservatoire des Arts et Métiers. Je m'inspirerai de mes grands devanciers ; et, avec votre bienveillant concours, je m'efforcerai, du moins par mon zèle, de témoigner ma reconnaissance envers ceux qui m'ont appelé à recueillir ce glorieux héritage.

M. Becquerel a laissé une œuvre considérable dont je puis à peine aujourd'hui esquisser les traits essentiels. Son action scientifique s'est principalement fait sentir sur l'Électricité, le Magnétisme et l'Optique.

En Électricité, ses recherches se sont appliquées de préférence aux conditions mêmes de l'existence du courant.

L'intensité du courant électrique dépend de deux facteurs : la force électromotrice de l'appareil générateur d'électricité, et la conductibilité totale du circuit y compris le générateur. M. Becquerel a mesuré ces deux facteurs.

Si l'on réunit les deux pôles du générateur aux bornes d'un rhéomètre très résistant, l'intensité du courant qui traverse le rhéomètre est pratiquement indépendante de la résistance du générateur, et peut servir à en mesurer la force électromotrice. Telle fut la méthode adoptée. En guise de rhéomètre, il employa la balance électromagnétique imaginée par son père.

C'est une balance sensible, portant sous chacun de ses plateaux un aimant vertical suspendu au-dessus d'une bobine tres résistante. Quand un courant traverse l'appareil, les actions des deux bobines s'ajoutent : l'équilibre est détruit. Pour le rétablir, on place dans l'un des plateaux un poids proportionnel à l'intensité du courant. Ce poids pourra donc mesurer la force électromotrice. Toutefois, comme il dépend des bobines, des aimants, du fléau, en un mot des constantes de la balance, M. Becquerel commence par déterminer à l'aide de son appareil la force électromotrice d'un couple étalon destiné à servir d'unité dans toutes les mesures; précaution très importante, qui nous permet aujourd'hui de traduire en volts les nombres que le savant expérimentateur avait obtenus dès 1856.

Avec le soin scrupuleux qui lui est habituel, il a examiné et mesuré chacune des forces électromotrices partielles dont un élément de pile est le siège, et dont la force électromotrice totale de l'élément est la somme algébrique; étudiant successivement le rôle du métal et celui du liquide, l'influence de la température, l'effet souvent considérable et toujours nuisible de la polarisation des électrodes.

.Les différents Mémoires qu'il a écrits sur ce dernier phénomène ont été des sources précieuses pour les inventeurs de piles impolarisables ou soi-disant telles. Je signalerai seulement dans sa pile à sulfate de plomb une électrode solide se dépolarisant elle-même. Mais j'insisterai sur l'emploi très ingénieux de procédés mécaniques pour détruire la polarisation. Voici, par exemple, une pile : zinc, charbon, acide sulfurique étendu d'eau et rendu pâteux par l'adjonction de poussier. Quand la pile est montée depuis quelque temps, le charbon s'est recouvert d'hydrogène qui le polarise, l'intensité du courant a beaucoup baissé. Mais si l'on fait tourner le charbon sur lui-même, de façon à détacher par frottement l'hydrogène, le courant reprend son intensité première. Deux bâtons de zinc, tout semblables, plongés dans cette bouillie sulfurique, constituent un élément curieux, sans effet quand les deux bâtons sont en repos, devenant actif quand on agite l'un d'eux, et changeant de polarité selon le zinc mis en mouvement, lequel constitue toujours le pôle positif.

L'étude des phénomènes de polarisation conduit M. Becquerel à d'intéressantes constatations sur les propriétés électriques des métaux au contact de certains gaz. Il est amené à construire une pile avec un gaz, l'hydrogène, un liquide, dissolution neutre de chlorure d'or, et deux lames de platine, dont l'une est immergée dans le liquide, dont l'autre est placée dans l'hydrogène et s'enfonce légèrement dans le chlorure.

M. Becquerel ne s'est pas contenté de ces investigations si complètes relativement à la force électromotrice; il a étudié aussi le second facteur dont dépend l'intensité du courant : il a déterminé, à l'aide de la méthode due à son père, et la résistance propre de l'électromoteur et celle du circuit extérieur dans les conditions les plus variées. Un galvanomètre différentiel reçoit dans ses deux bobines enroulées en sens contraire les deux courants provenant d'une même pile dont le circuit a été bifurqué en deux branches identiques : l'une de ces branches renferme la résistance à mesurer, l'autre un fil étalon dont la longueur peut se régler au moyen d'un rhéostat, de façon à équilibrer exactement cette résistance. L'équilibre existe quand l'aiguille du galvanomètre est au zéro. M. Becquerel faisait usage d'un galvanomètre différentiel extrêmement sensible et il en observait l'aiguille avec un microscope. Il a obtenu ainsi d'une manière très exacte les résistances des divers métaux par rapport à celle de l'argent, et il a mesuré la variation de chacune de ces résistances suivant la température. Rappellerai-je que ces variations sont très importantes à connaître, tant au point de vue théorique que pour l'emploi pratique des différents métaux en Électricité et pour leur utilisation en thermométrie électrique ?

Dans le cas des liquides, la méthode doit être modifiée à cause des phénomènes de polarisation se produisant au contact des électrodes solides qui amènent le courant. On établit d'abord l'équilibre galvanométrique entre des longueurs quelconques du fil étalon et de la colonne liquide à étudier, puis on augmente celle-ci d'une grandeur déterminée et, en ajoutant une certaine quantité de fil étalon, on rétablit l'équilibre : on mesure ainsi la résistance de la portion de colonne liquide

ajoutée, sans être gêné par les phénomènes perturbateurs qui existent aux deux bouts. Pour appliquer ce procédé, M. Becquerel dut construire un rhéostat à liquide qui a été souvent employé depuis, et qui consiste essentiellement en un tube de verre à l'intérieur duquel le liquide soumis à l'expérience est compris entre deux électrodes solides : l'une fixe, portée par un fil isolé qui descend à l'intérieur d'une éprouvette enveloppant le tube, l'autre mobile à l'aide d'une crémaillère commandée par un pignon rattaché à l'éprouvette. Il trouva ainsi que pour les dissolutions de chlorure de sodium et de sels analogues la conductibilité augmentait avec le degré de concentration jusqu'à la saturation et que, sur toutes les dissolutions essayées, l'élévation de la température provoquait un accroissement considérable de la conductibilité, qui était couramment trois à quatre fois plus grande à 100° qu'à 0°.

De même, les gaz, très résistants à la température ordinaire, acquièrent à chaud une conductibilité marquée. L'expérience était disposée de la façon suivante : deux fils de platine, tendus à faible distance l'un de l'autre, communiquent respectivement avec les deux pôles d'une pile et font partie d'un circuit contenant un galvanomètre. Ce circuit n'est interrompu que par la mince couche d'air comprise entre les deux fils parallèles: mais cette interruption est suffisante pour empêcher tout courant appréciable. Si l'on chauffe le système, l'air interposé entre les deux fils devient conducteur et livre passage à un courant assez intense, comme en témoigne le galvanomètre. L'élévation de température a le même effet qu'une raréfaction. M. Becquerel remarqua d'ailleurs que la propagation de l'électricité dans un gaz était un phénomène complexe, dépendant et de l'intensité du courant et de la nature des électrodes.

Le passage du courant dans les conducteurs les échauffe. Un procédé calorimétrique exact permettait de reconnaître que la quantité de chaleur développée est proportionnelle à la résistance du conducteur ainsi qu'au carré de la quantité d'électricité transmise.

Parmi les effets des courants, ce sont les phénomènes électrochimiques qui ont le plus attiré l'attention de M. Becquerel. Avec son père, il a étudié la galvanoplastie du nickel, du co-

balt, du platine, et posé les règles d'une industrie dont le développement a été si grand plus tard. Il a donné le moyen d'obtenir aisément ces beaux anneaux qui se forment sur l'électrode positive dans la décomposition d'un sel de plomb par le courant électrique. Leurs vives colorations rappellent celles des bulles de savon et sont dues au même jeu de lumière dans une lame extrêmement mince, constituée ici par du bioxyde de plomb. Cette sorte de peinture électrique a été utilisée par l'art qui a su en tirer de très heureux effets et par la science qui s'en est servie pour tracer les lignes équipotentielles, dont l'importance théorique a été si bien mise en évidence de nos jours.

En étudiant la décomposition des sels à formules complexes, il a trouvé que, d'une manière générale, un équivalent du métalloïde ou de l'acide suroxygéné se porte au pôle positif et la quantité correspondante du métal au pôle négatif.

A côté de ces Mémoires se place naturellement une Note sur le dégagement de l'électricité par frottement, dans lequel le partisan convaincu de la théorie chimique de la pile apporte un puissant argument en faveur de la théorie adverse. Cette loyale soumission au fait, nul ne l'a pratiquée plus complètement que M. Becquerel. Toute son œuvre est un modèle de cette probité scientifique sans laquelle le vrai savant n'existe pas.

C'est encore à la théorie du contact qu'il rend hommage par ses belles recherches de thermo-électricité. Le premier il a construit un élément thermo-électrique ayant une force électromotrice comparable à celle des éléments hydro-électriques : sa pile sulfure de cuivre-maillechort donne au rouge sombre une force électromotrice de $\frac{1}{3}$ de volt.

Au moyen des couples thermo-électriques, il a effectué, avec son père, des séries d'expériences destinées à évaluer les températures de l'air et du sol à différents niveaux, expériences continuées aujourd'hui par les soins de son fils au Jardin des Plantes.

Il a employé un élément thermo-électrique platine-palladium à la mesure des hautes températures. Après avoir gradué cet élément par comparaison avec le pyromètre à air de Pouillet,

il s'en est servi avantageusement pour déterminer les points de fusion des métaux réfractaires et les lois du rayonnement des corps incandescents. Les expériences faites depuis ont confirmé l'exactitude de ses observations; les éléments thermo-électriques fournissent encore actuellement l'un des pyromètres les plus commodes et les plus usuels.

Les travaux de M. Becquerel sur le Magnétisme sont éminemment propres à nous représenter sous ses traits les plus exacts le savant physicien, aussi hardi dans la recherche des causes que patient dans l'observation des faits dont aucun ne doit être dédaigné, si petit qu'il soit en apparence. Vérité morale autant que scientifique, qu'un homme de son caractère ne pouvait pas méconnaître.

Il établit d'abord par les procédés les plus variés et les plus précis qu'aucun corps n'échappe à l'action de l'aimant. Certains corps, comme le fer, sont attirés avec énergie; d'autres, comme le platine, sont à peine influencés; d'autres enfin, comme le bismuth, sont repoussés. Quant au fer même, le phénomène, ainsi que l'avait déjà indiqué Pouillet, dépend de la température. Pour le montrer, M. Becquerel dispose cette expérience : un barreau de fer, chauffé au rouge cerise, est apporté sous un puissant électro-aimant; il n'est pas attiré. Mais, en se refroidissant, il redevient sensible à l'influence de l'aimant, contre lequel il s'élance bientôt avec force.

Si l'action de l'aimant est absolument générale, elle est le plus souvent très faible, quelquefois même elle est indécise. Ne serait-ce point parce que les forces apparentes ne sont que les différences de celles qui agissent sur le corps même, et de celles qui s'exercent sur le milieu environnant? En se posant cette question, M. Becquerel a singulièrement élargi nos connaissances sur le Magnétisme. Par une disposition ingénieuse des appareils et une mesure précise des effets obtenus, il a réussi à mettre hors de doute ce fait d'une importance capitale : « L'action exercée par un aimant sur une substance plongée dans un milieu liquide ou gazeux est la différence des effets produits séparément sur la substance et sur le volume du milieu déplacé. Un corps est donc attiré ou repoussé par

un centre magnétique suivant qu'il est plongé dans un milieu moins magnétique ou plus magnétique que lui, de même qu'un ballon plein de gaz tombe à la surface de la terre ou s'élève dans l'air, suivant que ce gaz est plus dense ou moins dense que l'air. Ainsi, certains tubes de verre, qui sont attirés par un aimant dans l'air, sont fortement repoussés dans des dissolutions de sels de fer ou de nickel, plus magnétiques que le verre; le soufre et la cire blanche, qui sont repoussés dans l'air par les centres d'action magnétique, sont attirés lorsqu'ils sont plongés dans des dissolutions concentrées de chlorure de calcium ou de magnésium, dissolutions plus fortement repoussées par les aimants que le soufre et la cire. »

Notre atmosphère renferme un corps très magnétique, l'oxygène, dont le pouvoir est attesté par la perte apparente de magnétisme que ce gaz fait subir aux corps qui y sont plongés. En cherchant à manifester cette propriété de l'oxygène par une autre méthode, M. Becquerel a été conduit à une curieuse expérience. On prend un petit barreau en charbon, corps à peine sensible à l'action de l'aimant, on le chauffe au rouge de façon à le débarrasser des gaz et vapeurs dont il est toujours imprégné, et on le refroidit dans le mercure, puis on l'amène à l'intérieur d'une éprouvette pleine d'oxygène; il condense ce gaz dans ses pores et devient en quelque sorte un barreau d'oxygène. Si alors on le place entre les pôles d'un électro-aimant, il est attiré comme le serait un barreau de fer. « La valeur de cette puissance magnétique est telle, que 1^{mc} d'oxygène pris à $0^{m},76$ de pression, puis condensé de manière à avoir la même densité que le fer, agirait sur une aiguille aimantée comme un petit cube de fer du poids de $0^{gr},54$; 1^{mc} d'air a donc une action représentée par $0^{gr},11$ de fer. Si l'on réfléchit que la Terre est entourée d'une masse d'air équivalente au poids d'une couche de mercure de $0^{m},76$ de hauteur, il est aisé de comprendre qu'une pareille masse, soumise à des variations continuelles de température et de pression, doit intervenir dans quelques-uns des phénomènes dépendant du magnétisme terrestre. »

Mais le magnétisme de l'oxygène ne suffit pas à expliquer le diamagnétisme des corps tels que le bismuth. Sans doute,

un morceau de bismuth se montre un peu plus diamagnétique dans l'oxygène : toutefois, il ne le serait guère moins dans le vide. Mais si le vide lui-même était suffisamment magnétique pour faire éprouver à quelques-uns des corps qui y sont immergés une perte apparente de magnétisme supérieure à leur magnétisme propre, on n'aurait plus à distinguer deux classes de corps contrairement influencés par l'aimant. Telle est l'hypothèse hardie de M. Becquerel : « Tous les corps sont magnétiques; mais ils sont plongés dans un milieu (l'éther) qui lui-même est magnétique. D'après le principe de compensation énoncé précédemment et complètement analogue au principe d'Archimède en hydrostatique, ils semblent donc magnétiques ou diamagnétiques, suivant qu'ils sont plus magnétiques ou moins magnétiques que l'oxygène. » Les progrès ultérieurs de la Science ont confirmé cette conception : parmi toutes les hypothèses mises en avant, c'est celle qui a réussi le mieux à rendre compte du diamagnétisme, en le supprimant. Elle nous rapproche ainsi de cette unification des agents physiques, qui paraît être la fin suprême de la Science.

En Optique, M. Becquerel a porté ses investigations sur les actions chimiques de la lumière, sur l'irradiation et sur la phosphorescence.

Les admirables découvertes d'où est sortie la Photographie donnaient alors un haut intérêt à l'étude des actions chimiques qui accompagnent l'impression lumineuse. Poursuivant les conséquences logiques de ses idées sur le développement de l'électricité, M. Becquerel établit d'abord que des courants se produisent dans les changements dus à l'intervention de la lumière comme dans toute autre réaction chimique. Il s'applique particulièrement à observer l'électricité qui se manifeste lorsque les rayons solaires frappent une plaque daguerrienne plongée dans un liquide conducteur. La plaque sensible se charge d'électricité positive, et le liquide d'électricité négative. Ce résultat indique que, sous l'influence des rayons solaires, l'iode est chassé partiellement de la combinaison qu'il formait à la surface de la plaque d'argent. Les lames recouvertes de chlorure ou de bromure d'argent se comportent

d'une façon analogue. De là est sortie l'idée d'un appareil qui n'a peut-être pas été assez remarqué : l'actinomètre électro-chimique. Dans une petite cuve, pleine d'eau acidulée, plongent deux lames sensibles communiquant avec un galvanomètre à fil long et fin. Quand la lumière vient à frapper l'une de ces lames, il se produit immédiatement un courant électrique dont l'intensité est en rapport avec la puissance excitatrice.

Mais on peut aller plus loin et examiner quelle est séparément l'action de chacun des rayons simples dont l'ensemble constitue le rayonnement total émis par le soleil ou l'arc électrique. C'est ce que fit M. Becquerel. En recevant le spectre solaire sur une surface impressionnable, il recueillit une ample moisson de faits nouveaux et intéressants, qui peuvent se résumer ainsi : une plaque daguerrienne simplement iodurée ou un papier sensibilisé au chlorure, au bromure ou à l'iodure d'argent, sont impressionnés par les parties bleue et violette du spectre et par toute une région située au delà de la partie visible.

On sait que dans le spectre solaire existent un grand nombre d'intervalles obscurs, des raies noires, dont Fraunhofer a désigné les principales par les premières lettres de l'alphabet, A, B, ..., H. Si l'on reçoit le spectre sur une plaque sensible, les raies de Fraunhofer se marquent exactement à leur place dans toute la partie impressionnée par les rayons visibles (dans le bleu et le violet). Mais, en outre, dans la partie ultra-violette, apparaissent une infinité de raies semblables à celles de la partie visible dont elles forment comme le prolongement; et ces raies se produisent identiquement les mêmes, quelle que soit la substance sensible employée, dans tout l'espace où cette substance subit l'action de la lumière. Avant M. Becquerel, la présence des raies spectrales n'avait pas été constatée dans les épreuves photographiques.

Nous avons dit qu'avec les substances sensibles usitées en Photographie, le spectre lumineux ne donne d'impression, ou, ce qui revient au même, d'action chimique que dans sa portion la plus réfrangible, bleue et violette. Mais si la plaque sensible a été d'abord exposée quelque temps aux rayons

chimiques ou simplement à la lumière diffuse, elle est devenue impressionnable par les rayons lumineux, verts, jaunes, orangés, qui étaient primitivement inactifs. Ainsi, « l'effet photochimique et photographique, qui ne se produit pas sous l'action de certains rayons, se continue sous l'influence de ces mêmes rayons lorsqu'il a été primitivement commencé par d'autres ». A ce point de vue, les rayons que nous avons appelés chimiques peuvent recevoir le nom d'excitateurs, et les rayons lumineux, moins réfrangibles, celui de continuateurs. Toutefois, le phénomène est un peu plus compliqué; et sur une plaque daguerrienne préalablement excitée, la raie A, dans l'extrême rouge, apparaît brillante au lieu d'être obscure. En somme, « la substance, une fois impressionnée, même très faiblement, se comporte comme une autre substance sensible aux nouveaux rayons ».

Les rayons continuateurs sont aussi révélateurs. De très beaux daguerréotypes ont été exécutés sans mercure, et par la seule continuation des rayons rouges. On obtient facilement ces rayons rouges en tamisant la lumière du jour au moyen d'un verre coloré par de l'oxydule de cuivre, qui ne laisse passer qu'une lumière sensiblement monochromatique.

L'emploi d'écrans transparents, colorés ou incolores, conduisit M. Becquerel à ce résultat important : toute radiation supprimée comme lumière disparaît en même temps comme agent photochimique, comme principe de phosphorescence, et, ajoutons, comme cause de chaleur. Ainsi les raies noires du spectre lumineux se retrouvent sur les impressions photographiques et phosphorescentes. L'interposition d'un écran transparent ne modifie pas la partie visible. Au contraire, cet écran pourra agir fortement sur les rayons situés dans les parties invisibles du spectre. En un mot, chaque écran absorbe certaines radiations, et une radiation absorbée disparaît à la fois dans toutes ses manifestations. C'est là aujourd'hui une vérité courante; il importe de ne pas oublier à qui on la doit.

Je ne saurais énumérer les progrès dont la Photographie est redevable, directement ou indirectement, à E. Becquerel. Que de phénomènes intéressants consignés dans son beau livre *la Lumière*, que de conseils précieux semés dans ses Mé-

moires, dans ses cours, dans ses conversations! Mais je rappellerai les remarquables résultats qu'il a obtenus dans « l'impression photochromatique du spectre et la reproduction des images colorées que donne la chambre noire ». Il y est arrivé par l'emploi d'une substance sensible spéciale, le sous-chlorure d'argent violet, recuit à une température convenable et amené ainsi à une teinte rouge-brique. Ce sous-chlorure, devenu alors impressionnable par tous les rayons lumineux et par les seuls rayons lumineux, reçoit de chacun d'eux la couleur qui lui est propre, de sorte que, dès 1848, « le problème de peindre avec la lumière pouvait être considéré comme scientifiquement résolu ». Les images colorées produites de cette manière se conservent indéfiniment dans l'obscurité. Des spectres ainsi photographiés avec leurs teintes sont encore aujourd'hui de toute beauté. Malheureusement ils s'altèrent à la lumière. Un procédé tout récent a permis d'obtenir des spectres très brillants et absolument inaltérables.

Au moyen de ce même sous-chlorure d'argent recuit, placé en guise de substance sensible dans son actinomètre chimique, M. Becquerel a réalisé un appareil n'accusant que les radiations lumineuses, et atteignant le maximum d'effet dans la partie la plus éclatante du spectre pour ne plus donner que des indications décroissantes jusqu'aux deux limites du spectre visible. L'actinomètre ainsi construit peut donc jouer par rapport à la lumière le même rôle que remplit la pile thermo-électrique relativement à la chaleur rayonnante. Doué d'une sorte de « rétine minérale », il apprécie à chaque instant, comme l'œil, l'intensité actuelle de la lumière et constitue, par conséquent, un véritable photomètre.

Ses travaux antérieurs l'ayant mis en possession d'un couple (platine-palladium) propre à mesurer les hautes températures, M. Becquerel en a profité pour étudier une question aussi intéressante que difficile, l'irradiation. Il a cherché comment varient la nature et l'intensité du rayonnement avec la température pour les différents corps réfractaires.

Quand on élève progressivement la température d'un corps opaque, tel que le platine, la chaux, la magnésie, les diverses

radiations apparaissent successivement à partir du rouge, les rayons jaunes, bleus, violets, ultra-violets s'ajoutant à mesure que la température s'accroît. En même temps, chacune des radiations déjà existantes, la radiation rouge, par exemple, augmente d'intensité. M. Becquerel trouve que, dans les limites de ses expériences, cet accroissement d'intensité est représenté par une formule exponentielle analogue à celle que Dulong et Petit ont adoptée pour exprimer le refroidissement dans le vide. La température d'un corps pourra donc se déduire d'une simple mesure photométrique. Ce procédé a été employé à différentes reprises avec plus ou moins de succès par divers expérimentateurs. Les évaluations de M. Becquerel ont été d'accord avec celles de Pouillet pour montrer que les foyers les plus ardents n'atteignent pas des températures aussi élevées qu'on l'avait cru d'abord. Les travaux accomplis depuis lors confirment cette manière de voir.

J'aborde maintenant ce bel ensemble de recherches sur la phosphorescence, qui peut être cité à bon droit comme un modèle de l'art expérimental.

On savait dès longtemps que différentes substances possèdent la propriété de rester lumineuses dans l'obscurité. On avait observé les lueurs singulières du diamant et les effets étranges des phosphores artificiels produits par les alchimistes. M. Becquerel se proposa d'étudier scientifiquement ces phénomènes mystérieux.

Il commença par instituer un mode rationnel d'observation, permettant de constater aisément la lumière propre de la substance à l'instant où cesse l'action excitatrice. La substance soumise à l'expérience est placée dans un tube à l'intérieur duquel on raréfie l'air de façon à pouvoir le faire traverser par la décharge de la bobine d'induction. On opère dans l'obscurité : l'observateur, qui tient les yeux fermés, ne les rouvre qu'au moment précis où il interrompt la décharge.

Ce procédé est très commode. Le suivant l'est plus encore et offre l'avantage d'abréger autant que l'on désire et de mesurer le temps qui sépare la suppression de la lumière excitatrice et l'observation de la lumière émise par phosphorescence.

Voulant un jour montrer à un collègue la phosphorescence d'un grand nombre de substances tenues jusqu'alors pour absolument dénuées de cette propriété, M. Becquerel n'y réussissait pas à son gré : la lueur s'éteignait presque complètement pendant le temps que l'expérimentateur employait à retirer le corps du lieu où il recevait les rayons solaires et à l'apporter dans la chambre obscure par une ouverture pratiquée au volet. Il imagina alors un appareil propre à transporter rapidement le corps d'un côté à l'autre du volet sans laisser passer la lumière, appareil qui après divers perfectionnements est devenu le phosphoroscope.

Deux disques égaux, percés chacun de quatre fenêtres, sont montés sur un même axe, de manière que les vides de l'un correspondent aux pleins de l'autre. Aucune lumière ne traverse donc le système, ni quand il est au repos, ni quand on le fait tourner autour de l'axe commun des deux disques. Mais si l'on place entre ceux-ci, sur un support fixe, un fragment du corps à essayer, et si l'on imprime à l'appareil un nouvement de rotation assez rapide, la lumière émise par phosphorescence pourra être facilement observée. En effet, le corps reçoit d'abord les rayons actifs, puis il est démasqué à une époque qui succède d'autant plus tôt à la période d'éclairement que la vitesse est plus grande. Ces alternatives se renouvelant régulièrement, la lumière semblera continue si la phosphorescence persiste pendant l'intervalle compris entre l'instant où la substance a cessé d'être éclairée et celui où elle est découverte. Un mécanisme communique aux disques une vitesse de rotation suffisante pour que ce temps se réduise à $\frac{1}{10\,000}$ de seconde.

Au moyen de cet appareil, M. Becquerel constata qu'un très grand nombre de substances possèdent la propriété de luire dans l'obscurité sans éprouver aucun changement physique. La phosphorescence est un phénomène général, mais d'une durée très variable selon la nature des corps.

Dans un phosphoroscope, disposé spécialement pour la démonstration et où la source de lumière est une lampe électrique enferméedans une lanterne parfaitement close, plaçons un morceau de spath; une vitesse faible suffit à lui faire

prendre l'aspect d'un charbon incandescent : la durée limite de la phosphorescence est alors, en effet, de $\frac{1}{3}$ de seconde. Elle n'est plus que de $\frac{1}{20}$ de seconde pour le rubis d'où jaillit une vive lumière rouge. Elle se réduit à $\frac{1}{100}$ de seconde pour le verre d'urane qui émet cette belle lueur verte dont il se pare si aisément dans les rayons violets. Cette lueur, qui ne se continue pas un temps appréciable à la simple vue, avait été, ainsi que d'autres semblables, attribuée à un phénomène spécial désigné sous le nom de fluorescence. M. Becquerel a démontré que la fluorescence n'est qu'une phosphorescence de courte durée : tous les solides fluorescents se sont en effet comportés dans le phosphoroscope comme le verre d'urane; et, si les liquides essayés n'ont laissé voir aucune lumière, on est simplement amené à conclure que pour eux la phosphorescence ne subsiste pas pendant $\frac{1}{10000}$ de seconde.

Suivant les corps, la phosphorescence a des durées très variables, depuis une très petite fraction de seconde jusqu'à des heures et même des jours : le diamant et la chlorophane restent lumineux pendant plusieurs heures; les sulfures de calcium, de barium, de strontium sont encore visibles dans l'obscurité après trente heures et luisent de nouveau au bout de huit jours si on les chauffe.

Effectivement, la chaleur active la phosphorescence, de même qu'elle la fait disparaître plus tôt; sous l'influence d'une élévation de température, l'énergie accumulée dans le corps et qui se serait lentement dissipée est dépensée en quelques instants : la lumière devient plus intense, mais elle s'éteint plus rapidement.

« La chaleur modifie aussi la composition de la lumière émise, et ce changement peut être tel qu'avec une substance comme le sulfure de strontium lumineux bleu à la température ordinaire, on peut obtenir toutes les nuances prismatiques comprises entre le violet et l'orangé, et cela entre les limites de température de — 20° à 150°. »

Un même corps peut émettre par phosphorescence, à une même température, des rayons de teinte et de durée différentes. Ainsi, pour une faible vitesse des disques, certains diamants apparaissent au phosphoroscope jaunes orangés ; quand la vi-

tesse augmente, la couleur change, passant au violet, puis au bleu clair. Les rayons jaunes et bleus existent ensemble au début, mais la lumière bleue, plus vive, ne se maintient guère que $\frac{1}{1000}$ de seconde, tandis que la lumière jaune se prolonge pendant plusieurs minutes.

Non content de ces observations si intéressantes, M. Becquerel a analysé la lumière excitatrice et la lumière émise. Il a constaté ainsi qu'un même corps est influencé par divers rayons et peut émettre, sous l'action de chacun de ceux-ci, des rayons de durée et de réfrangibilité variables, la réfrangibilité des rayons émis étant toujours inférieure ou au plus égale à celle des rayons excitateurs. D'ailleurs, pour chaque radiation, l'intensité de la lumière émise décroît avec le temps comme la température d'un thermomètre qui se refroidit.

On peut spécifier la nature d'un corps en analysant la lumière qu'il émet par phosphorescence. Chaque substance projette un spectre particulier, tenant non seulement à sa composition chimique, mais aussi à sa constitution moléculaire. Les divers composés phosphorescents d'un même corps se différencient par des spectres distincts. Ainsi, les sels d'urane présentent des raies brillantes équidistantes dont l'aspect général est le même pour tous, mais dont la position est caractéristique du sel employé, chaque raie lumineuse coïncidant avec l'une des raies sombres du spectre qui a traversé ce sel. La lumière émise par phosphorescence se prête donc admirablement à l'analyse spectrale; elle offre en outre cet avantage précieux de n'entraîner aucune altération du corps; un diamant, un rubis sera reconnu immédiatement et sans opération chimique.

Un phénomène très intéressant est manifesté par les rayons peu réfrangibles du spectre solaire. De même que les rayons à très grandes longueurs d'onde des sources à température peu élevée, ils précipitent la phosphorescence, la réduisant à un temps si court que toute lumière s'efface presque instantanément. Si donc on fait tomber sur une substance phosphorescente appropriée (blende hexagonale) et convenablement excitée un spectre solaire complet, la phosphorescence semblera supprimée dans toute la région rouge et infra-rouge du

spectre; sur le fond sombre ainsi obtenu se détacheront des raies brillantes dont les unes occuperont exactement la place des raies sombres signalées par Fraunhofer dans le rouge; et les autres marqueront des discontinuités toutes semblables dans cet infra-rouge pour lequel notre œil est aveugle. En réalisant cette belle expérience, reprise et élargie depuis par son fils, M. Becquerel a rendu visibles pour la première fois les raies du spectre infra-rouge, comme il avait montré celles du spectre ultra-violet. C'était couronner dignement des recherches heureuses d'où ressortaient des phénomènes avec lesquels toute théorie exacte de la lumière devra désormais compter.

Dans cet exposé forcément rapide, je n'ai pu, Messieurs, vous donner qu'une idée incomplète des remarquables travaux de M. Becquerel. Mais vous ne me pardonneriez pas de passer sous silence les grandes qualités morales du professeur que vous avez si longtemps connu et aimé. Personne ne pouvait apprécier mieux que vous cette modestie rare, qui est comme la fleur du vrai mérite et en rehausse l'éclat, cette courtoisie toujours prête à prodiguer les encouragements et les conseils, mais, par-dessus tout, cette haute probité scientifique, cet invariable attachement au devoir, qui ne se sont pas démentis un moment jusqu'à la fin d'une carrière si bien remplie. C'est que, chez mon savant prédécesseur, le caractère allait de pair avec le talent. M. Edmond Becquerel a laissé ainsi le souvenir d'un homme de bien et d'un maître éminent, dont la vie a été consacrée tout entière au culte de la vérité.



SUR

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCE DU 6 DÉCEMBRE 1891,

Par M. G. DEMENŸ,

Chef du Laboratoire de la Station physiologique
(Annexe du Collège de France).

Mesdames, Messieurs.

M. le professeur Marey, mon maître, m'a confié la tâche d'exposer devant vous la méthode de la Chronophotographie dont il est l'auteur. C'est une marque de confiance et d'amitié, dont je tiens à le remercier publiquement; c'est aussi un honneur dont je remercie M. le colonel Laussedat, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, car c'est à son initiative que nous pouvons, mes collègues et moi, vous montrer les procédés photographiques que nous employons journellement dans nos recherches.

C'est évidemment la meilleure manière de vous donner une notion bien nette des formes nombreuses que peut revêtir la Photographie et de la souplesse avec laquelle elle sait se plier à une multitude d'applications.

Pour ce qui me regarde, je demanderai votre indulgence pour deux raisons : la première, c'est que, née d'hier, la Chronophotographie embrasse cependant déjà une classe de phénomènes si nombreux, elle touche à tant d'applications, elle donne la solution de tant de problèmes, qu'il est bien difficile de parcourir en une séance le champ si vaste qu'elle comprend. La seconde, c'est que si le travail soutenu du laboratoire dresse

l'esprit à la recherche, il prépare peu à l'art du conférencier, et je m'excuse à l'avance si quelquefois je me laisse entraîner dans des explications un peu abstraites.

Je crois que la meilleure manière de vous donner une idée de la Chronophotographie consiste à faire passer sous vos yeux une longue série de projections qui, mieux que les descriptions, résumeront les résultats obtenus et vous feront pressentir ceux qu'elle promet de donner dans la plupart des sciences.

I.

Tout phénomène de la Nature se passe dans le temps et consiste finalement dans un changement d'état des corps, dans une variation de forme ou un déplacement dans l'espace.

Si l'on a, sur le rapport intime des parties qui constituent un objet, sur la forme en un mot, une connaissance bien nette, à un moment donné on peut déjà se faire de cet objet une idée assez précise. Mais une forme est très difficile à décrire; sur cent descriptions faites par différents observateurs, il n'y en a quelquefois pas deux semblables; de là résultent une notion vague, une connaissance imparfaite de l'objet qui peut être une source d'erreurs.

Tous les portraits tracés par les plumes les plus habiles ne valent pas à ce point de vue un seul coup d'œil jeté sur le sujet lui-même. Je vous rappellerai la surprise que nous éprouvons à la vue d'une personne dont on nous a décrit la physionomie; jamais l'idée que nous nous en faisons ne répond à la sensation que nous donne sa présence.

Le dessin est déjà une langue plus précise, mais il n'est pas à l'abri de tout reproche, il est entaché de la personnalité de l'artiste. C'est déjà une interprétation et non un document impersonnel.

La Photographie, au contraire, a cette qualité que n'ont ni la description ni le dessin, c'est de reproduire les objets sans interprétation, en laissant aux parties qui les composent leur position relative vraie. Elle saisit un ensemble compliqué avec autant de facilité qu'un simple détail.

L'objectif photographique, avec la plaque sensible, est un

œil qui voit avec une égale netteté tout ce qu'on lui présente dans son champ et qui conserve indéfiniment une impression reçue en une fraction de seconde.

L'insuffisance de la description ou du dessin pour définir la forme d'un corps est tout à fait notoire, lorsque cette forme change ou lorsque le corps se déplace. Du reste, les phénomènes de mouvement ont des durées quelquefois si courtes qu'elles ne sont plus en rapport avec les durées nécessaires à la perception des sensations visuelles.

Depuis longtemps, les mécaniciens avaient eu à étudier des phénomènes de ce genre, ils s'étaient préoccupés de faire inscrire sur une feuille de papier la trajectoire des corps eux-mêmes.

Les appareils du général Morin, les premiers de ce genre, se sont popularisés. La méthode graphique, cantonnée d'abord dans la météorologie et dans les sciences physiques, s'est introduite dans le vaste domaine des sciences biologiques, grâce aux travaux de M. le professeur Marey; il me suffira de vous rappeler quelques-unes de ses conquêtes pour vous faire juger de son rôle important.

C'est grâce à la méthode graphique que les mouvements du cœur, le battement des artères, les pressions et le débit du sang dans les vaisseaux, les mouvements de la respiration, les contractions des muscles, la vitesse de propagation de l'agent nerveux, l'action des poisons sur le cœur et les muscles ont pu être étudiés. Les phénomènes qui semblaient les plus incohérents ont été ramenés à des lois relativement simples.

La méthode graphique put encore s'appliquer à l'étude des mouvements généraux, à la locomotion de l'homme et des animaux, mais il fallut vaincre de grandes difficultés pour arriver à inscrire sur une feuille de papier les mouvements de l'aile d'un oiseau ou la succession des battues des pieds d'un cheval sur le sol. La délicatesse des instruments enregistreurs était extrême, puisque c'était l'air contenu dans un tube qui était l'agent de transmission du mouvement; mais, par contre, la complication de la technique était un obstacle à sa popularisation et l'interprétation délicate des tracés obtenus pouvait, entre des mains inexpérimentées, conduire à l'erreur.

Pour chaque point du corps considéré, il fallait un appareil d'exploration particulier; on ne pouvait donc multiplier ces appareils sans gêner absolument les mouvements de l'homme ou de l'animal en expérience.

Aussi le champ de la méthode graphique ordinaire était-il limité et l'on dut avoir recours à d'autres moyens d'investigation.

C'est la Photographie qui donna la solution du problème, puisqu'elle permit de saisir en une fraction de seconde la forme et la position d'un objet qui n'avait avec les appareils d'exploration aucun autre lien que les rayons lumineux.

Mais, parmi les mouvements et les changements de forme des corps, il y en a de lents, il y en a de rapides, il y a une distinction à faire entre eux au point de vue de leur analyse photographique.

Un homme met vingt années à acquérir sa taille, un arbre un nombre plus considérable encore. Une série d'images prises à des intervalles d'un jour, d'un mois, d'une année, suivant la rapidité du développement, suffiront amplement à l'étude du phénomène de la croissance.

Si l'on voulait avoir des séries d'images pendant une explosion qui dure une fraction de seconde, il serait nécessaire de les multiplier à l'extrême.

Une simple chambre photographique suffira dans le premier cas, dans le second il faudra un dispositif spécial et des appareils délicats devront être imaginés.

Ce sont ces dispositions qui constituent la méthode de la *Chronophotographie*, c'est-à-dire le moyen de prendre des séries photographiques à des intervalles de temps égaux et d'un point de vue unique.

Il y a plus de vingt ans déjà, M. Muybridge, en Amérique, réalisait une installation de ce genre, destinée à étudier les mouvements de l'homme et des grands animaux.

Une batterie de vingt-quatre objectifs était disposée sur une ligne horizontale et braquée sur un réflecteur composé d'un écran blanc incliné à 45°.

Chaque objectif avait son obturateur à guillotine maintenu fermé par un électro-aimant. Des fils communiquant avec ce

dernier étaient tendus en travers du chemin que devaient parcourir les sujets en expérience. Lorsqu'un fil se rompait, l'obturateur correspondant se mettait à fonctionner. La succession des ruptures des fils produisait ainsi la succession du déclenchement des obturateurs, c'est-à-dire une série d'images photographiques.

Les résultats obtenus par M. Muybridge, par cette disposition, étaient d'autant plus remarquables qu'il opérait sans l'aide du gélatinobromure. Aussi eut-il plutôt des silhouettes que des images modelées.

L'oiseau échappait à cette méthode ainsi que les petits animaux qu'on est obligé de photographier de près.

L'acquisition d'une batterie de vingt-quatre objectifs identiques et puissants était une dépense très grande et la manipulation de vingt-quatre plaques était particulièrement longue.

Les images obtenues, étant prises de vingt-quatre points de vue différents, n'étaient point comparables entre elles et, par le mode de déclenchement des obturateurs, les intervalles de temps qui les séparaient n'étaient pas forcément égaux.

M. Janssen, appliquant la Photographie aux observations astronomiques, se servit d'un seul objectif et d'une seule plaque sensible qu'il déplaçait entre deux images successives. Il prit par ce moyen une série d'images de la planète Vénus pendant son passage sur le disque solaire.

La disposition de M. Janssen réalisait donc la Chronophotographie, mais, excellente pour un cas spécial, elle ne convenait pas à l'étude des phénomènes rapides, à l'analyse de la locomotion des êtres animés.

M. Marey imagina alors un fusil photographique, conçu spécialement en vue de ses recherches sur le vol de l'oiseau.

Dans ce fusil, une plaque circulaire faisait un tour à la seconde et s'arrêtait douze fois pendant cette révolution.

Un disque fenestré laissait pénétrer la lumière pendant cet arrêt, et l'on pouvait obtenir de l'oiseau se détachant en silhouette sur le ciel des images dont le temps de pose était de $\frac{1}{700}$ de seconde environ.

Ce fusil était un petit chef-d'œuvre de mécanique; il avait l'avantage d'être portatif; il pouvait, comme un fusil de chasse,

être épaulé et braqué immédiatement sur l'objet à photographier.

Ces résultats étaient bien encourageants, mais, quand on voulut donner au fusil photographique de plus grandes dimensions, on échoua devant les résistances d'inertie créées par la masse des organes qui devaient passer brusquement de l'état de repos à l'état de mouvement rapide.

Il fallut chercher la solution du problème dans deux dispositions : laisser la plaque photographique fixe, ou donner à la surface sensible une légèreté telle que sa masse fût négligeable.

Il fallait de plus laisser passer la lumière à des intervalles de temps très courts, équidistants, et c'est quand ces conditions furent remplies que fut établie réellement la méthode de la Chronophotographie.

La technique de cette méthode a été exposée dernièrement par M. le professeur Marey lui-même, dans une brochure spéciale ([1]). Nous ne la développerons donc pas ici, nous rappellerons seulement que, dans les appareils nouveaux, la chronographie est assurée par la rotation uniforme d'un disque fenestré qui coupe le faisceau de lumière dans l'objectif même à la place habituelle du diaphragme.

L'objectif étant unique, son ouverture et sa puissance peuvent être grandes et pour chaque image de la série le point de vue reste identique.

Nous allons indiquer les avantages de la Chronophotographie sur plaque fixe et de la Chronophotographie sur plaque mobile.

Chronophotographie sur plaque fixe.

La Chronophotographie sur plaque fixe s'applique au cas où l'objet à photographier se déplace dans l'espace et où les images successives qui se peignent sur la plaque sensible ne se recouvrent pas.

([1]) MAREY. *La Photographie du mouvement.* In-8; 1892 (Paris, Carré).

Cette dernière condition est remplie lorsque l'espace parcouru en deux passages successifs de la fenêtre éclairante est plus grand que la largeur de l'objet à photographier.

Dans ce cas seulement il y a dissociation des images. Il faut encore que la plaque reste sensible pendant l'expérience, il faut qu'elle ne soit impressionnée que par l'objet à photographier.

Pour cela, ce dernier, de préférence de couleur blanche, est éclairé fortement au soleil et se détache sur fond noir.

Le fond qui donne les meilleurs résultats est un trou percé dans un hangar profond et tapissé de velours noir ou d'une couleur mate qui absorbe les rayons lumineux.

L'écran ou hangar de la Station physiologique a 12^m de profondeur, son ouverture a 12^m de long sur 4^m de haut.

Quand on braque un appareil photographique ordinaire sur le fond noir pendant quelques secondes, la plaque sensible est à peine impressionnée.

Si un point lumineux se meut devant le fond noir, il laisse sur la plaque la trace de son mouvement sous forme d'une trajectoire continue. Elle reçoit l'impression de l'œil devant lequel on agite un tison incandescent.

Si, au lieu d'un point lumineux, l'objet en mouvement possède des dimensions appréciables, il laissera sur la plaque sensible l'enveloppe de ses différentes positions dans l'espace.

L'image vague ainsi obtenue contient la trace de tous les mouvements du mobile; c'est la perspective du volume engendré par lui.

Le disque interrupteur que M. Marey introduit dans l'objectif devient un organe dissociateur de ces images. L'exploration n'est plus continue comme dans la méthode graphique, mais les éclairements se succèdent à des intervalles de temps suffisamment rapprochés pour toutes les analyses cinématiques.

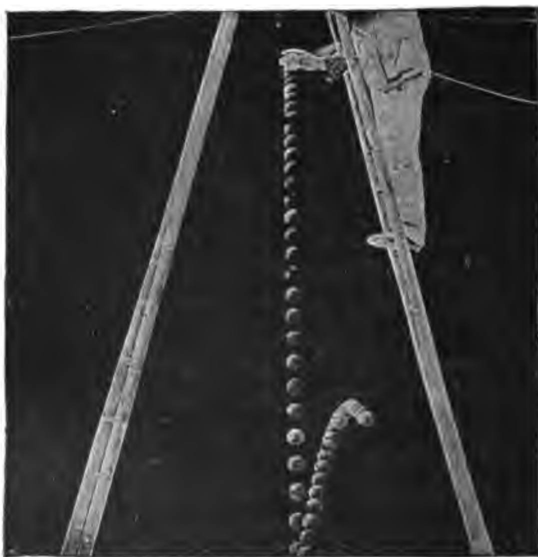
L'intermittence crée même un avantage, car elle devient un mode de mesure de la vitesse; l'espace parcouru par le point lumineux entre deux images consécutives étant proportionnel à la vitesse, il est possible de connaître les moindres variations de celle-ci et par conséquent d'aborder expérimentalement les problèmes cinématiques les plus compliqués.

La Chronophotographie sur plaque fixe donne donc la solution dans la recherche de lieux géométriques; c'est une méthode indirecte qui mène aussi à la connaissance des forces variables et à la mesure de leur travail.

Quelques exemples simples nous serviront à établir ces services.

Un corps pesant est abandonné à lui-même, il tombe suivant

Fig. 1.



Chute et rebondissement d'un corps élastique étudiés par la Chronophotographie sur plaque fixe.

les lois de la gravitation; la plaque photographique nous donne la loi de la chute et même la loi compliquée de la chute dans l'air (*fig.* 1). Si l'on comparait en effet le mouvement chronophotographié au mouvement uniformément accéléré que le calcul indique pour la chute dans le vide, on verrait un retard dans le premier cas qu'il faudrait attribuer à la résistance de l'air.

Le projectile lancé à la main suit sa trajectoire parabo-

lique (*fig.* 2) et l'on peut, sur l'épreuve, mesurer la valeur de

Fig. 2.

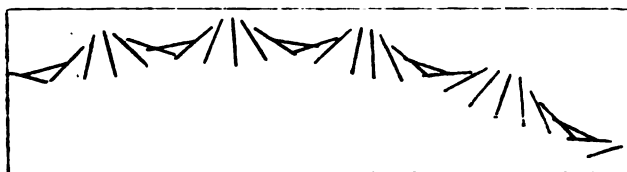


Trajectoires d'une balle lancée à la main obtenues d'une façon continue ou par intermittence.

la vitesse, dans les divers plans horizontaux.

Un bâton lancé en tournoyant (*fig.* 3), un système de deux

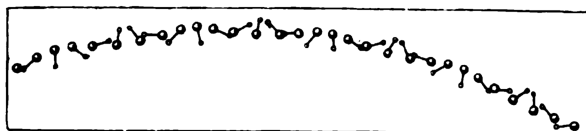
Fig. 3.



Bâton lancé à la main en tournoyant.

boules reliées par un fil (*fig.* 4) montrent l'indépendance des

Fig. 4.



Mouvement d'un système de deux boules liées ensemble par un fil.

mouvements simultanés. Le centre de gravité du système se meut sur sa trajectoire parabolique pendant que le corps tourne autour de son centre de gravité.

Les vibrations d'une verge en bois tenue à la main (*fig.* 5) se dissocient nettement, on voit les nœuds et les ventres se pro-

duire et changer de place suivant le mode de vibration adopté.

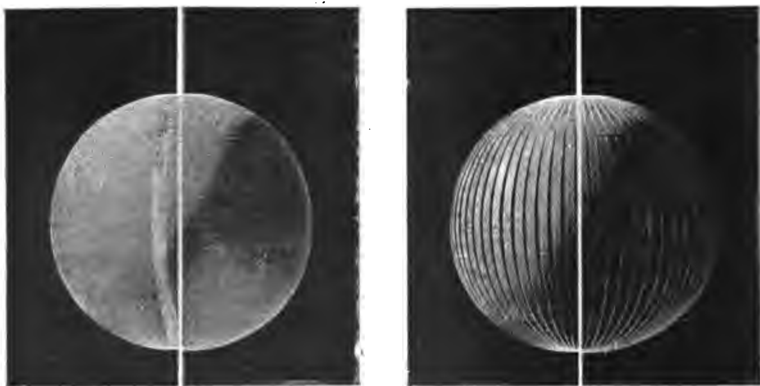
Fig. 5.



Vibration d'une verge de bois.

Une surface est engendrée par une ligne génératrice se mouvant sur une directrice. La Chronophotographie nous per-

Fig. 6.



Sphère engendrée au moyen d'une demi-circonférence tournant autour d'un diamètre. — Image continue et image chronophotographiée.

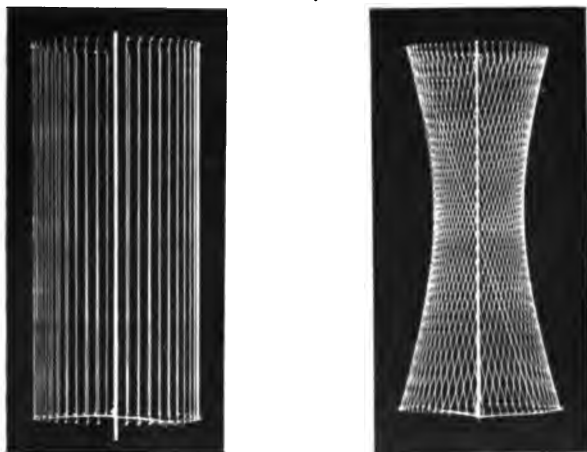
met d'assister à la génération toute théorique d'une sphère par un cercle tournant autour d'un diamètre (*fig.* 6), d'une surface réglée, cylindre ou hyperboloïde, au moyen d'une droite tournant autour d'un axe (*fig.* 7).

En donnant à la génératrice d'une surface un mouvement

varié, on pourrait ainsi figurer la génération des volumes suivant les lois mécaniques les plus compliquées.

En prenant de ces surfaces des images de deux points de

Fig. 7.



Génération d'une surface réglée, cylindre et hyperboloïde, au moyen d'un fil blanc photographié sur fond noir dans les positions successives de sa révolution.

vue différents, on aura, dans le stéréoscope, l'illusion de l'intersection des deux surfaces. L'intersection sera le lieu des points de croisement des fils générateurs.

L'homme et les animaux sont, au point de vue mécanique, des systèmes de points matériels dont les rapports de position varient pendant le mouvement suivant des lois extrêmement complexes. Ainsi, on voit à l'œil nu que la tête d'un homme qui marche est, avec le corps entier, animé d'oscillations de haut en bas, périodiquement rythmées avec le pas. La trajectoire de la tête est ondulée, elle est la résultante de la progression et des différents mouvements qui se passent dans toutes les parties du corps. Les articulations du pied, celles du genou et de la hanche se fléchissent et s'étendent périodiquement, le tronc se tord, s'incline d'avant en arrière et se porte à gauche et à droite.

Fig. 8.



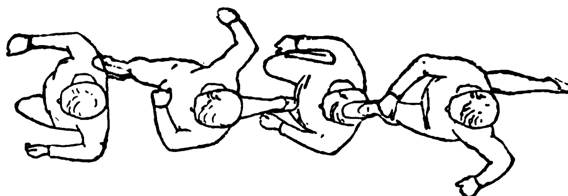
Marcheur photographié 5 fois à la seconde sur plaque fixe.

Fig. 9.



Coureur photographié 10 fois à la seconde sur plaque fixe.

Fig. 10.



Coureur photographié d'un point de vue élevé.

Des images de l'homme, prises à des intervalles de $\frac{1}{5}$ ou de $\frac{1}{10}$ de seconde, suffiront dans bien des cas pour indiquer ces mouvements. Plus la vitesse de progression est grande, plus la distance qui sépare deux images successives est considérable, aussi peut-on multiplier alors les images sans craindre qu'elles se superposent (*fig.* 8, 9, 10 et 11).



Fig. 11. — Images successives d'un sauteur, 5 images à la seconde.

Cependant, si l'on veut aller plus loin dans l'étude de la locomotion, si l'on désire en faire une véritable analyse cinématique, il faut augmenter le nombre des images et le porter jusqu'à cinquante et plus à la seconde. Il ne faut plus alors chercher à photographier l'homme en totalité, il y aurait confusion des images; il faut se contenter d'étudier le mouvement des points remarquables du corps.

L'homme vêtu de noir (*fig.* 12) porte sur son costume de

velours des points brillants aux centres articulaires, des lignes blanches le long de ses membres. La plaque photographique ne reçoit que l'impression de la lumière émise par ce squelette

Fig. 12.

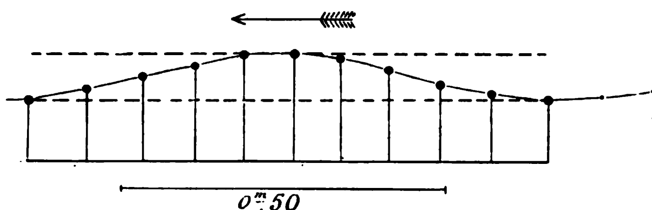


Homme vêtu de noir et portant des lignes et des points blancs pour l'étude chronophotographique du mouvement des points remarquables du corps.

blanc, l'épreuve résultante est un véritable schéma du mouvement de l'homme.

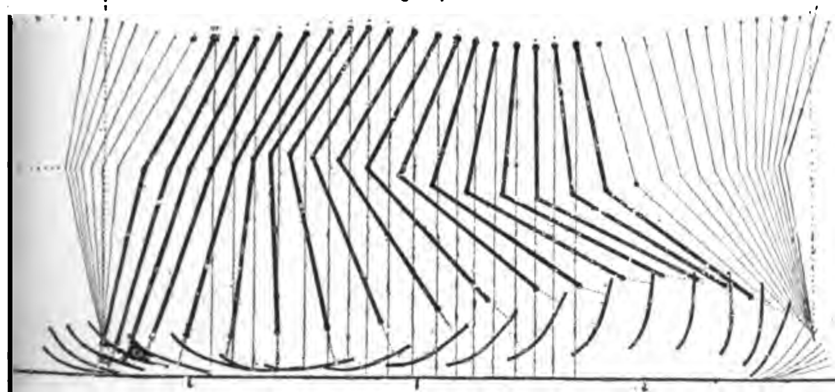
Le cliché présente une série de lignes ondulées et ponctuées qui sont les trajectoires de la tête, de l'épaule, de la hanche du genou et du pied. Les variations de la vitesse de ces points remarquables sont indiquées par une condensation plus ou moins grande de leurs images, et, pour mettre de l'ordre dans tous ces points, il faut prendre la précaution d'élargir une des fentes du disque interrupteur. S'il y a dix fentes, la dixième

Fig. 13.



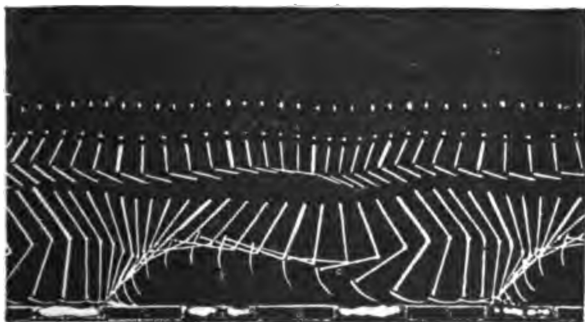
Trajectoire d'un point brillant fixé à la tête d'un marcheur ; la condensation des images indique la variation de la vitesse du sommet de la tête.

Fig. 14.



Mouvement du membre inférieur dans la marche de l'homme analysé par la Chronophotographie sur plaque fixe.

Fig. 15.

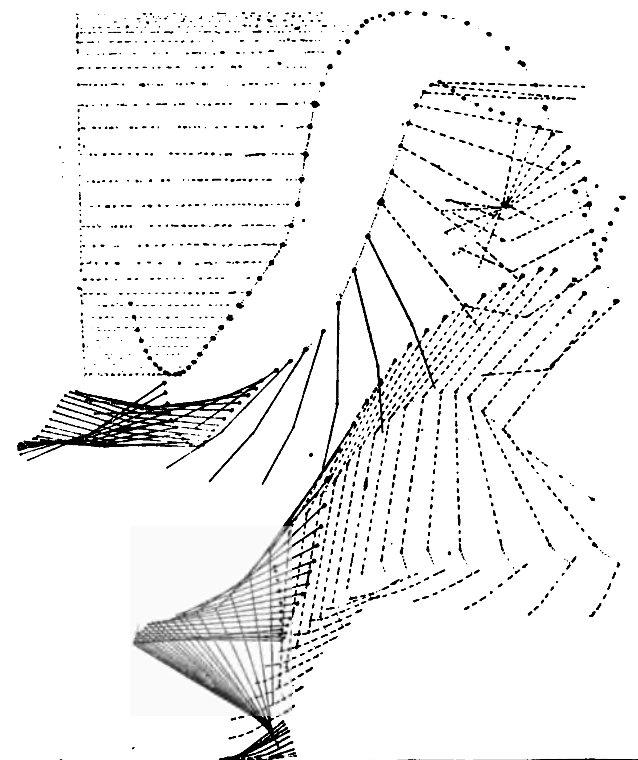


Analyse cinématique de la course par la Chronophotographie sur plaque fixe (50 images par seconde).

étant plus grande que les neuf autres, à cette dixième correspondra un temps de pose plus grand et par conséquent aussi une intensité plus grande des images photographiées en même temps.

C'est ainsi que l'on peut établir la corrélation entre les points

Fig. 16.



Analyse de l'amortissement du choc qui termine un saut (50 images par seconde).

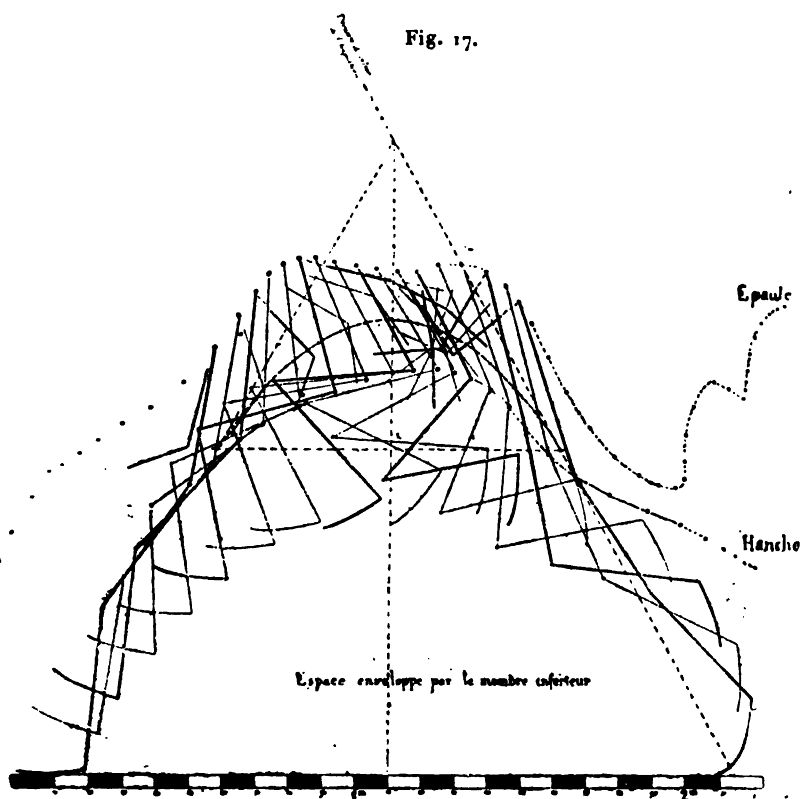
correspondants dans les différentes trajectoires et reconstituer en les joignant le squelette humain dans tous ses mouvements.

Sur ces schémas (*fig.* 13, 14, 15, 16, 17), le physiologiste peut étudier les lois du mouvement de l'homme, comme l'ingénieur étudie une machine. On peut construire pour chaque

point les courbes de la vitesse et de l'accélération du mouvement.

On peut déterminer les centres instantanés de rotation des rayons des membres inférieurs sur le sol, et leurs vitesses angulaires pendant l'appui et pendant le lever du pied.

Fig. 17.



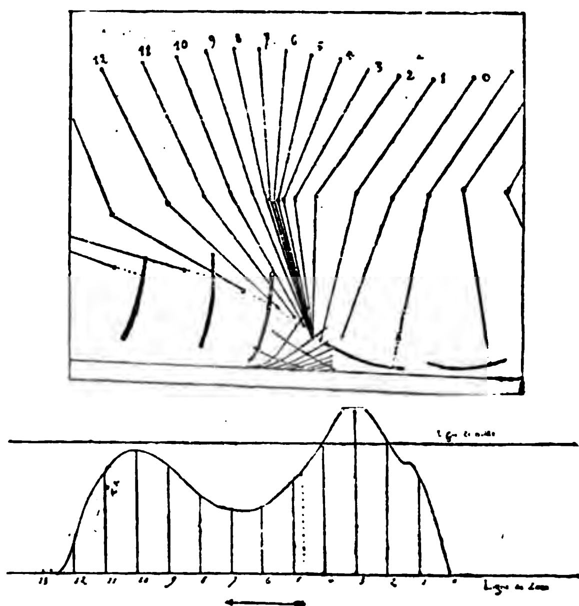
Détermination de la trajectoire parabolique du centre de gravité dans un saut en longueur de pied ferme (50 images à la seconde).

On peut déterminer la trajectoire du centre de gravité du corps dans l'espace, établir la corrélation des mouvements des membres supérieurs et des membres inférieurs avec ceux du tronc. Si ces recherches expérimentales sont faites sur trois

plans de projection rectangulaires, on a les documents cinématiques suffisants pour caractériser une allure quelconque au point de vue mécanique (*fig.* 18).

Il y a, bien entendu, des précautions à prendre, mais on

Fig. 18.



Études simultanées des allures de l'homme au moyen de la Chronophotographie et de la dynamographie. — Courbe de la pression du pied et analyse cinématique du mouvement de la jambe obtenues simultanément pendant l'appui du pied dans un pas de marche.

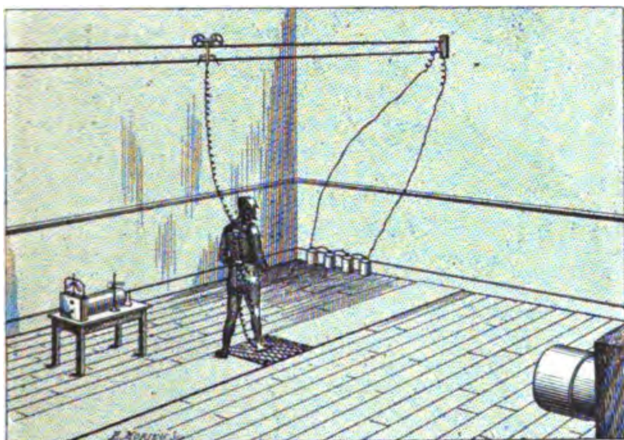
conçoit qu'il soit possible avec ces moyens d'étudier un sujet d'élite, marcheur, coureur ou sauteur.

On peut déterminer les allures types, normales, avantageuses au point de vue de l'effet utile. On peut examiner la nature des modifications apportées dans ces allures lorsque l'on fait varier la nature du sol, son inclinaison, la résistance du vent, la nature de la chaussure, la surcharge. On peut conserver de toutes ces influences des traces durables et, si l'on joint à ces documents cinématiques les données dynamiques des dyna-

mographes ou inscripteurs de la pression des pieds sur le sol, on a ainsi tous les éléments nécessaires à la connaissance des forces mises en jeu dans la locomotion et l'on peut même aborder les difficiles évaluations du travail mécanique dépensé (1).

Les démarches ont leurs trajectoires caractéristiques; en nous livrant à l'étude des claudications, nous avons pu déterminer les formes particulières de quelques-unes et esquis-

Fig. 19.



Etude des allures pathologiques de l'homme par la Chronophotographie et sans l'aide de la lumière solaire. Des lampes à incandescence sont attachées aux articulations du sujet et servent de points brillants.

ser une sorte de physiologie pathologique de la locomotion humaine (*fig.* 19).

Nous nous sommes servi dans ce cas de lampes électriques à incandescence attachées aux articulations des malades et mises, par l'intermédiaire d'un conducteur unique, en rapport avec la source d'électricité (*fig.* 20).

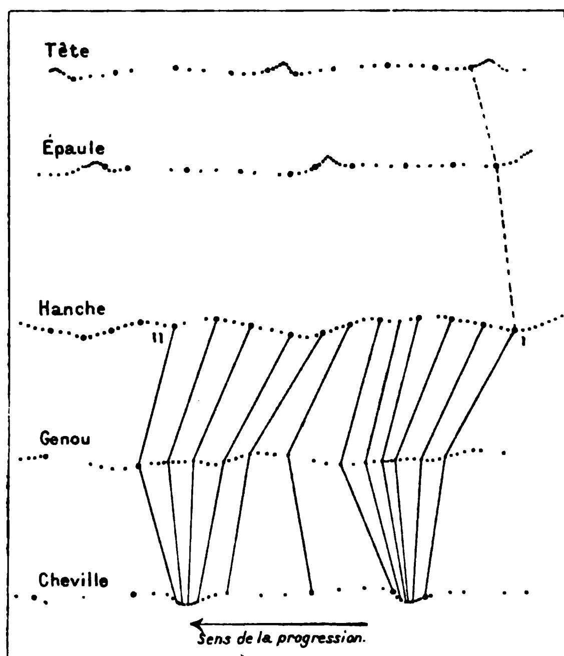
Un chariot, placé dans le circuit, portait tous les fils et suivait le malade sans entraver ses mouvements (2).

La portée de ces recherches n'est pas douteuse; déjà l'appli-

(1) Voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.
(2) Installation faite à l'hôpital Beaujon et à l'Hôtel-Dieu.

cation en a été faite à l'éducation physique de l'homme. Les résultats auront pour effet de rendre cette éducation plus conforme aux lois naturelles et d'éviter d'imposer à l'enfant des

Fig. 20.



Exemple d'une allure pathologique étudiée par la Chronophotographie. au moyen des lampes à incandescence. Trajectoires caractéristiques de la coxalgie.

enseignements qui ne sont pas pour lui une vraie cause de perfectionnement (¹).

Au moyen de la Chronophotographie sur plaque fixe, un coup d'épée, un coup de poing, un coup de canne peuvent être analysés, leur vitesse peut être mesurée exactement et des tireurs d'écoles différentes peuvent être comparés entre eux.

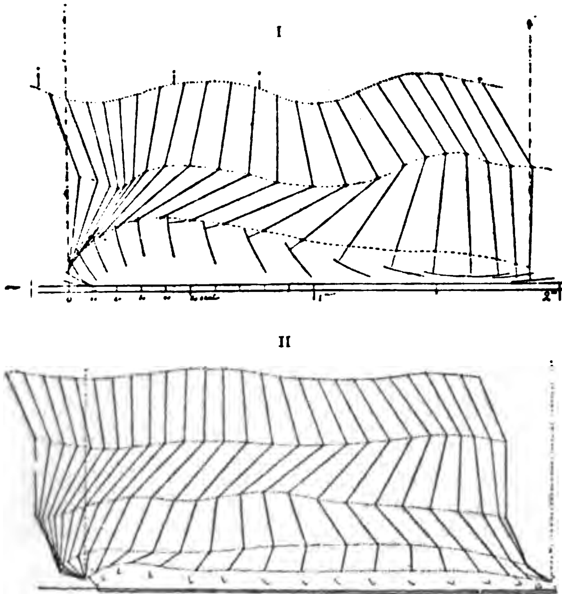
(¹) *Manuel d'exercices gymnastiques* du Ministère de l'Instruction publique.

La méthode photographique peut aussi apporter la lumière dans les grands problèmes de la Science.

Chaque être possède une locomotion qui lui est propre et est en rapport avec sa structure anatomique.

Si l'on entreprenait l'étude méthodique des allures par les procédés de la Chronophotographie, si l'on déterminait ainsi

Fig. 21.

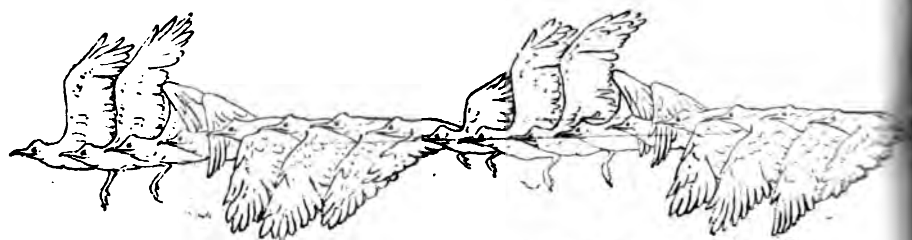


Comparaison des mouvements des membres inférieurs chez l'homme et le cheval. I, course de l'homme. II, pas du cheval.

pour chaque animal la nature et l'amplitude des mouvements de chacun de ses articles pendant les mouvements normaux de locomotion, on établirait la physiologie comparée des mouvements des êtres animés.

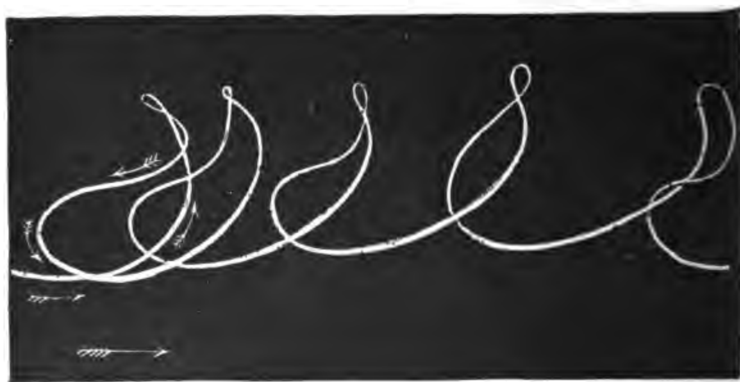
En rapprochant cette étude de celle de l'anatomie des organes locomoteurs, on mettrait par cela même en évidence les rapports intimes de l'organe et de la fonction. Cette vaste étude, dont le plan est indiqué, préoccupe depuis longtemps M. le professeur Marey. Déjà les lois de la morphologie des

Fig. 22.



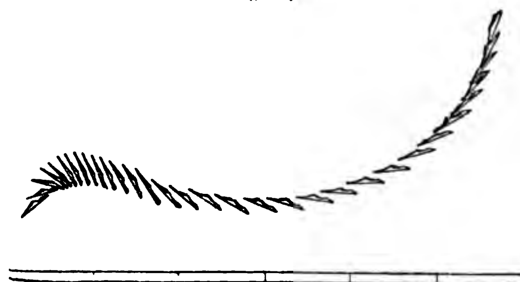
Analyse chronophotographique du mouvement de l'aile de l'oiseau.

Fig. 23.



Trajectoire de l'extrémité de l'aile d'une corneille pendant le vol.

Fig. 24.



Trajectoire chronophotographique d'un petit appareil planeur en papier.

animaux ont été esquissées par lui dans des Notes qui peuvent être considérées comme la préface d'un immense travail qui serait à la physiologie des mouvements ce que l'œuvre de Cuvier et de Geoffroy est à l'anatomie comparée. Ainsi s'établiraient aussi les limites de la modificabilité des organes à leur fonction, si l'on obligeait un animal à modifier ses allures et si l'on cherchait les relations entre la variation de la fonction et la forme de l'organe.

Dans un ordre de recherches moins philosophiques, mais pouvant présenter une foule d'applications utiles, nous citerons la locomotion du cheval qui, comme celle de l'homme, peut être étudiée au point de vue de la connaissance de ses allures normales ou en vue du perfectionnement de ces allures (*fig.* 21).

L'oiseau a fait l'objet de travaux spéciaux à la station physiologique. Des documents expérimentaux sur lesquels le calcul peut actuellement être établi, ont déjà permis de préciser l'action propulsive de l'aile (*fig.* 22 et 23); on a pu se rendre compte de l'action de l'air sur des appareils planeurs lancés à la main devant l'écran noir (*fig.* 24); à ce sujet, nous ne pouvons que renvoyer à l'important Ouvrage de M. Marey sur le vol (¹).

Chronophotographie sur plaque mobile.

Toutes les applications précédentes sont celles de la Chronophotographie sur plaque fixe. Mais, dans le cas des mouvements sur place, si l'on veut prendre des objets en mouvement un grand nombre d'images se succédant rapidement sans confusion, il faut user d'un autre procédé.

Il faut adopter une disposition qui permette de faire cheminer la plaque sensible entre deux images successives, afin que la distance qui sépare les épreuves soit assez grande pour éviter leur superposition.

Cette seconde méthode constitue la Chronophotographie sur

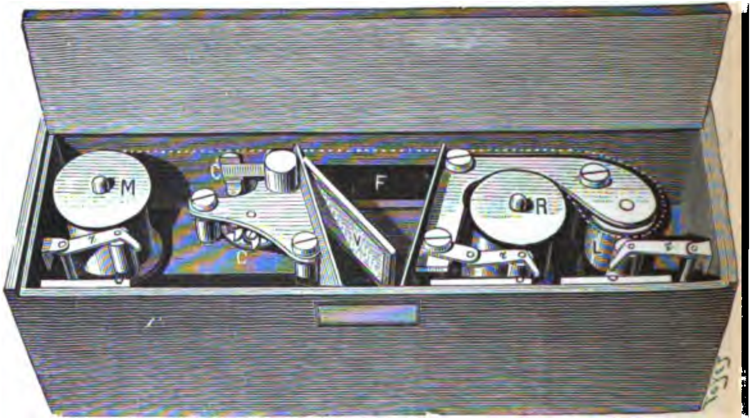
(¹) Marey, *Le Vol des oiseaux*. Gr. in-8; 1889 (Paris, G. Masson.)

plaque mobile. La plaque de verre est alors remplacée par une pellicule de grande longueur qui, d'une bobine magasin sur laquelle elle est enroulée, passe sur une bobine réceptrice qui est entraînée par un ressort moteur.

C'est en passant d'une de ces bobines sur l'autre que la pellicule reçoit l'impression lumineuse. Malgré la rapidité du temps de pose, il est encore indispensable que cette impression lumineuse se fasse sur la pellicule immobile.

Pour cela, un compresseur vient fixer celle-ci un peu avant

Fig. 25.



Organes principaux de l'appareil chronophotographique dissociateur servant à entraîner la pellicule sensible et à l'immobiliser pendant le temps de pose.

que la fenêtre éclairante percée dans le disque obturateur passe dans l'objectif.

La pellicule, bien qu'immobilisée tout à coup, continue néanmoins à être sollicitée par la bobine réceptrice; si elle ne se rompt point sous l'action de cette dernière, c'est qu'elle se réfléchit sur un ressort et qu'il y a toujours une plus grande quantité de pellicule dévidée qu'il en faudrait pour la tendre.

Des organes délicats règlent le débit de la pellicule sensible (*fig.* 25) et la description complète de l'appareil se trouve

explicitement exposée par M. Marey dans une brochure récemment parue ([1]).

Sur les bandes pelliculaires peuvent donc se peindre sans confusion les images successives des phénomènes les plus complexes.

L'homme en mouvement peut alors être étudié sous le rapport de sa forme extérieure. Si le sujet est bien choisi, si l'éclairage est convenable, les saillies des muscles donnent au modelé de l'image un caractère extrêmement intéressant.

L'homme en mouvement obéit en effet aux nécessités de sa structure et aux lois ordinaires de la mécanique. Le repos, l'effort, la vitesse ont donc leurs formes extérieures caractéristiques.

Si l'on pousse l'étude un peu loin et si l'on entre dans le détail, on peut déterminer le modelé que présente un groupe de muscles pendant un mouvement donné.

On savait depuis longtemps que le mécanisme des mouvements était très complexe, on connaissait vaguement la nature des associations musculaires nécessitées par un mouvement ou un effort déterminé; la Chronophotographie est plus précise, elle nous donne maintenant les signes extérieurs des associations musculaires et nous permet de voir ce que nous n'avions fait que pressentir ou constater d'une façon incomplète au moyen des appareils de la méthode graphique ordinaire ([2]).

Un bras qui se fléchit ou s'étend, un bras qui donne un coup de poing ou s'étend pour se fléchir immédiatement après ne présentent pas une forme semblable (*fig.* 26).

Les différences de contour et de modelé sont assez nettes pour conclure de la vue de l'image à la nature du mouvement.

Les animaux ont aussi leur forme particulière, suivant les mouvements qu'ils exécutent. En aucun cas, dans la représentation d'un sujet en mouvement, on ne peut être autorisé à compléter par l'imagination les données incomplètes de l'œil.

([1]) MAREY, *La Photographie du mouvement*. In-8; 1892 (Paris, Carré).

([2]) *Du rôle mécanique des muscles antagonistes* (*Archives de Physiologie* de Brown-Séquard). *De la forme extérieure dans son rapport avec les mouvements* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*).

Le mouvement ne peut se poser, c'est la pauvreté de nos connaissances qui nous laisse transporter dans la représentation du mouvement les données acquises dans l'état de repos.

La Chronophotographie démontre que le mouvement des

Fig. 26.



1. — Bras en train de se fléchir.



2. — Bras en train de s'étendre.



3. — Bras qui s'étend pour se fléchir immédiatement.



4. — Bras qui s'étend définitivement comme pour donner le coup de poing.

Images tirées de séries photographiques et montrant les changements du modelé d'un bras qui se fléchit et s'étend, suivant les différentes phases du mouvement.

animaux a ses lois et ses formes et, puisqu'on ne peut poser le mouvement, il faut le saisir tel qu'il est.

De deux choses l'une, on voit ou l'on ne voit pas avec les yeux les choses en mouvement. Si l'on voit, puisqu'il y a des lois fixes du mouvement, la Photographie nous l'indique, tous doivent voir de même.

Si l'on ne voit pas, on imagine, et, autant de personnes, autant d'interprétations.

Mais le nombre de ces interprétations fantaisistes diminue à mesure que l'observateur se fait une éducation plus méthodique de la vue.

On apprend à voir. Si l'œil est, à peu de chose près, le même pour tous, le cerveau qui regarde par l'œil est très différent, et c'est justement la perception des sensations visuelles qui varie. Cette perception change chez le même individu avec l'éducation. Elle dépend des sensations antérieurement reçues.

Les artistes qui ne travaillent que devant la nature et ne se laissent pas influencer par les œuvres de leurs collègues, ne voient peut-être pas toutes les phases d'un mouvement, mais ce qu'ils en perçoivent est exact. Nous avons pour preuve les œuvres anciennes et celles des sujets qui ne se sont pas faussé le jugement aux enseignements artificiels des écoles.

Pour nous, l'éducation des perceptions visuelles faite sur la nature ou sur les représentations photographiques de la nature peut aller très loin. Nous avons constaté que nous pouvons voir aujourd'hui ce qui nous paraissait absolument obscur au début.

Si l'on perfectionne ainsi les centres de perception, si on les éduque dans le sens vrai, ce perfectionnement est chose acquise définitivement, jamais nous ne reverrons dans la nature ce qui n'y est pas; l'hallucination est pour toujours écartée.

Nous sommes convaincu que l'éducation de la vision au moyen des séries photographiques pourra étendre chez tous le champ des sensations visuelles. L'Art, qui est la manifestation de l'état actuel des sensations d'une race, évoluera fatalement ainsi vers la forme vraie, indiscutable, forme qui contentera ceux qui voient juste au lieu de s'adresser seulement aux sensations vagues d'un public peu éduqué.

Les dernières applications de la Chronophotographie ont été faites avec succès par M. Marey aux mouvements des petits animaux, même à ceux qui ne sont visibles que dans le champ du microscope.

Les insectes sont intéressants parce qu'ils présentent une grande variété de locomotion. Le mouvement de l'aile de l'insecte (*fig.* 27), est si rapide que, pour saisir cette aile photo-

graphiquement, il faut opérer sur un fond brillant constitué par la lumière solaire elle-même réfléchie par un miroir. Dans ces



Fig. 27.

Images de deux tipules, l'une est immobile, l'autre vole contre une vitre.
La netteté des contours est égale dans les deux séries d'images.

conditions, on peut réduire le temps de pose à $\frac{1}{25000}$ de seconde.

M. Marey a pu, sur ces épreuves, vérifier des faits que sa sagacité lui avait fait prévoir et que la méthode graphique n'avait pu qu'indiquer.

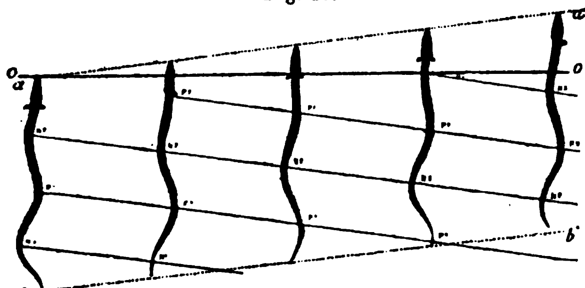
L'étude de la locomotion aquatique (*fig.* 28) complète cette vue d'ensemble sur le mouvement.

Dans le champ du microscope, les évolutions des infusoires, la circulation capillaire, la contraction d'une fibre musculaire ont pu être saisis au moyen de l'adjonction de quelques pièces spéciales.

Tout récemment enfin, nous avons réussi à photographier les mouvements de la parole et de la physionomie (¹).

En construisant un zootrope spécial et en reconstituant l'il-

Fig. 28.



Étude de la natation de l'anguille par la méthode des images dissociées. On voit la relation entre les ondulations du corps et son déplacement total.

lusion de ces mouvements on a pu lire sur les lèvres d'une photographie parlante.

On peut surtout, sur ces épreuves, étudier les formes de transition de la bouche dans les différents sons émis.

L'éducation des chanteurs et des sourds-muets pourra sans doute tirer parti de ces procédés destinés à éclairer la physiologie de la phonation et de la linguistique.

Voici, Messieurs, un long aperçu des applications d'une méthode nouvelle dont j'espère vous avoir fait pressentir la portée générale.

Les sciences expérimentales s'établissent avec des documents et des faits; elles trouveront certainement dans la Chronophotographie un aide d'une souplesse que n'a pas la méthode graphique ordinaire.

(¹) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*

Une foule de questions pratiques restent dans le vague et n'ont pas encore de solutions précises parce qu'elles n'ont pas de méthodes précises d'observation.

Où manquent les faits les opinions abondent, et les discussions, ne portant que sur des interprétations subjectives, n'aboutissent pas à la solution impersonnelle.

Dans les phénomènes où le mouvement est la manifestation extérieure la plus saisissante, nous espérons vous avoir montré combien la méthode chronophotographique était apte à saisir dans ses moindres détails, quelles que soient la complexité et la rapidité du mouvement, toutes les variations de forme et de position des objets dans l'espace.

J'ai mis sous vos yeux des exemples de ses nombreuses applications actuelles. Le nombre de ces applications ne fera que s'accroître et ceux qui l'utiliseront dans leurs recherches la considéreront comme leur auxiliaire le plus utile et le plus général.

La Chronophotographie est en somme une application de la Photographie; c'est donc au compte de cette dernière qu'il faut inscrire ses succès.

Je n'ai fait qu'apporter une nouvelle couronne à l'invention française la plus féconde peut-être de ce siècle, à la découverte de Nicéphore Niepce et de Daguerre.

Il appartient à la patrie qui lui a donné naissance d'en populariser la pratique et de tenir le public au courant de toutes ses merveilleuses applications. Nous faisons des vœux pour que l'idée généreuse de M. le colonel Laussedat se réalise et qu'un enseignement théorique et technique de la Photographie, créé ici même, devienne un des plus importants de ceux du Conservatoire des Arts et Métiers.



LA

PHOTOGRAPHIE DES COULEURS,

CONFÉRENCE DU 13 DÉCEMBRE 1891 (¹),

Par M. G. LIPPMANN,

Membre de l'Institut, professeur à la Faculté
des Sciences de Paris.

Mesdames, Messieurs,

On sait que l'image des objets éclairés, projetée par une lentille convergente sur un écran blanc, est la reproduction exacte de la forme et des couleurs de ces objets.

L'image paraît toujours jolie, alors même que l'objet nous est indifférent. Le plaisir qu'on éprouve à la regarder a peut-être ses raisons en dehors de la Physique; mais, à coup sûr, il a inspiré les physiciens créateurs de la Photographie, en leur donnant le désir de rendre permanente l'image fugitive de la chambre noire avec son coloris et son modelé.

Une partie du problème a été, en effet, résolue par la Photographie actuelle : le modelé de l'image est resté sur le cliché, mais la couleur a disparu.

I.

Les premières observations relatives à l'obtention des couleurs remontent au début du siècle. Seebeck, en 1810, et

(¹) Cette conférence a déjà paru dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, dont le Directeur M. Louis Ollivier a eu l'obligeance de nous prêter les clichés des figures insérées ci-après, p. 164, 165, et 166.

Herschel, vers 1840, firent des recherches relatives à la coloration que prennent les sels d'argent, particulièrement, sous l'influence de la lumière colorée.

On savait depuis longtemps que le chlorure d'argent noircissait à la lumière blanche. Seebeck découvrit que, sous l'influence suffisamment prolongée des rayons colorés du spectre, le chlorure d'argent prend des colorations qui rappellent celles des rayons qui ont agi. En 1840, Herschel refit les expériences de Seebeck et confirma ses observations.

Comme lui, il opérait en projetant le spectre sur le chlorure d'argent. Toutes les fois que les physiciens veulent étudier les propriétés de la lumière colorée dans des conditions simples et bien définies, c'est au spectre qu'ils s'adressent, parce que le spectre est formé de rayons simples. Toutes les autres lumières sont des mélanges de ces couleurs simples.

Vers 1848, M. Edmond Becquerel obtint, pour la première fois, une image du spectre solaire. Il eut l'idée d'opérer sur une lame de plaqué d'argent préparée d'une manière spéciale. Au lieu de la sensibiliser par l'iode, comme Daguerre, il employa le chlore; la surface convertie en chlorure violet d'argent, exposée au rayon du spectre pendant un temps suffisant, prend la couleur de ces rayons. Ce résultat si intéressant ne résout point le problème de la Photographie des couleurs : l'image obtenue n'est point fixée, c'est-à-dire qu'elle ne peut être conservée que dans l'obscurité; exposée à la lumière blanche, l'épreuve devient blanche en son entier; car le sous-chlorure d'argent, ayant conservé toute sa sensibilité, devient blanc à la lumière blanche, comme il était devenu rouge à la lumière rouge.

Toutes les tentatives faites par E. Becquerel pour fixer l'épreuve colorée sont restées infructueuses. Après Becquerel, Poitevin a repris le même procédé, c'est-à-dire l'emploi du sous-chlorure violet d'argent avec des modifications secondaires : au lieu de déposer le sous-chlorure sur une plaque d'argent, il l'employait sur papier; de plus, il l'imbibait de bichromate de potasse qui augmente la sensibilité. Mais, pas plus que E. Becquerel, Poitevin n'est parvenu à fixer les images colorées.

A la suite de ces expériences, on paraît avoir renoncé, pen-

dant plus de vingt ans, à chercher le problème de la fixation directe des couleurs.

En 1869, Charles Cros et M. Ducos de Hauron imaginèrent une méthode indirecte pour obtenir, à l'aide de la Photographie, des images polychromes. En principe, l'un et l'autre inventeur procèdent de la même manière. Ils tirent d'abord de l'objet à reproduire trois clichés incolores ; ensuite, à l'aide de procédés connus, ils obtiennent de ces trois clichés trois images qui sont teintées de trois couleurs différentes, ces couleurs étant dues par exemple à l'emploi de trois encres grasses colorées. En superposant ces trois images, qui séparément sont monochromes, on obtient une image polychrome. C'est ainsi que l'on procède d'ailleurs pour faire une chromolithographie, avec cette différence que l'ingénieux procédé de Charles Cros et de M. Ducos de Hauron supprime l'intervention des dessinateurs et la remplace par la Photographie.

Par contre, il faut bien remarquer que ce procédé ne résout pas le problème de la fixation directe des couleurs. Les clichés obtenus sont incolores. La couleur est apportée après coup et par des rouleaux chargés d'encres colorées, et le choix des pigments ainsi employés reste à l'appréciation de l'ouvrier. Ce choix est donc plus ou moins arbitraire.

II.

La méthode au moyen de laquelle j'ai réussi à fixer définitivement sur un même cliché toutes les couleurs du spectre fidèlement reproduites, est entièrement différente de celles que j'ai exposées plus haut. Au lieu de m'adresser aux effets chimiques si mal connus de la lumière, j'ai pensé à utiliser ses propriétés physiques qui sont définies avec précision. La théorie de la lumière est exactement calquée sur la théorie du son ; on compte le nombre des vibrations lumineuses aussi sûrement que celui des vibrations sonores.

De même qu'on sait, en acoustique, combien il faut de vibrations pour obtenir le *la normal* (870 par seconde), de même on sait combien il faut de vibrations pour obtenir du rouge, du jaune, du violet, etc.

Cette théorie de la lumière m'a permis de définir *a priori* les conditions où il fallait se mettre pour obtenir des clichés colorés. Ces conditions sont au nombre de deux; elles ne modifient que très peu les dispositifs usuels de la Photographie.

Il faut, premièrement, que la couche sensible soit continue et non pas formée de petits grains dispersés dans de la gélatine; il faut, deuxièmement, que cette couche sensible soit adossée à une surface réfléchissante formant miroir. Le déve-

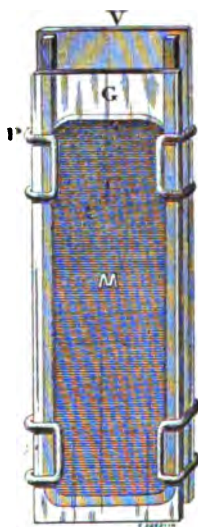


Fig. 1. — Châssis photographique.

V, lame de verre portant sur ses bords un cordon de caoutchouc. — M, plaque sensible; la face de cette plaque qui porte la couche sensible est à l'intérieur; sa face nue est à l'extérieur. — G, pièce maintenant la plaque appliquée par ses bords sur les deux cordons de caoutchouc latéraux de la lame V. — P, crochets pour maintenir la plaque.

loppement et le fixage se font, d'ailleurs, à l'aide des réactifs ordinaires.

On obtient une couche continue en sensibilisant, dans un bain d'azotate d'argent, une couche de collodion, d'albumine ou bien de gélatine contenant du bromure, du chlorure ou de l'iodure de potassium.

On obtient une surface miroitante adossée à la couche en

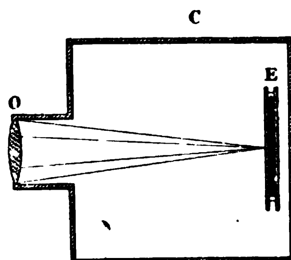
versant derrière celle-ci une certaine quantité de mercure en contact avec elle. A cet effet, la plaque de verre qui porte la couche est retournée (c'est-à-dire la face du verre du côté de l'objectif); la plaque se trouve serrée contre une petite auge garnie de caoutchouc où l'on verse le mercure.

La *fig.* 1 représente cette auge; on voit qu'elle est formée d'une contre-lame de verre V munie le long de ses bords d'un cordon de caoutchouc collé, produisant une fermeture étanche.

La petite auge plate ainsi constituée et remplie de mercure, est exposée dans la chambre noire comme le montre en coupe la *fig.* 2.

Lorsque la pose est terminée, on vide le mercure, on enlève

Fig. 2.



Disposition de l'auge à l'intérieur de la chambre noire.

O, lentille — E, châssis photographique constitué par l'auge que représente la *fig.* 1.

la plaque sensible qui n'était maintenue que par pression contre le caoutchouc, on la développe dans un bain (d'acide pyrogallique et de carbonate d'ammoniaque, par exemple); on fixe à l'hyposulfite de soude.

Les couleurs apparaissent au fur et à mesure que la plaque devient sèche. On les voit par réflexion, en mettant le cliché sur fond noir et en les regardant à la lumière diffuse.

Je me suis assuré d'ailleurs qu'elles sont parfaitement fixées, c'est-à-dire inaltérables à la lumière.

III.

Les couleurs ainsi obtenues sur la plaque sont très brillantes.

De quelle nature sont-elles?

Le dépôt formé par l'action photographique se compose d'argent réduit, comme sur le cliché ordinaire; car il a été produit à l'aide des réactifs usuels. Il n'est donc pas coloré par lui-même. La couleur est due à une raison purement physique : elle tient à la structure lamellaire que le dépôt d'argent a prise sous l'action de la lumière et qui produit *par interférence* le phénomène de coloration dit « des lames minces ».

On sait, en effet, que des substances incolores réduites en

Fig. 3.

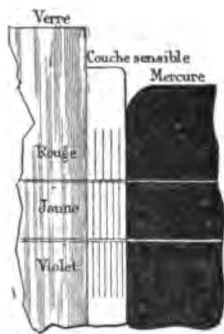


Schéma pour représenter les stratifications du dépôt d'argent dans l'épaisseur de la couche sensibilisée en contact avec le mercure.

On suppose le cliché partagé en trois régions impressionnées chacune par une seule couleur. Dans la région supérieure où l'on a fait agir le rouge isolément, on voit que les bandes d'interférence sont plus espacées que dans la région où le jaune seul a agi; dans cette région les bandes sont plus espacées que dans le violet; etc.

lames suffisamment minces se teintent de vives couleurs; c'est le cas des bulles de savon qui sont pourtant formées par un liquide incolore. De même une couche d'huile très mince, étalée à la surface de l'eau, présente des irisations très vives. De même encore une lame d'acier polie échauffée se recouvre d'une couche mince d'oxyde, dont la couleur varie du rouge au bleu suivant l'épaisseur de cette couche. Dans l'industrie on se sert de cette propriété pour arrêter le recuit au degré voulu.

La couleur que prend une lame mince dépend de son épaisseur : au fur et à mesure que celle-ci diminue, on observe successivement par réflexion du rouge, puis du vert, du bleu et enfin du violet.

Chaque épaisseur correspond à une couleur bien déterminée, et, comme disent les physiciens, la couleur réfléchie est celle dont la demi-longueur d'ondulation est égale à l'épaisseur de la lame mince.

Or, dans la couche sensible, il s'est produit une série de lames minces; le dépôt d'argent réduit est stratifié; il se compose d'une série de lames minces d'argent équidistantes et qui partagent la gélatine ou l'albumine qui leur sert de support en lames minces superposées. Là où nous voyons, par exemple, du rouge, la distance entre les deux dépôts d'argent, ou, en d'autres termes, l'épaisseur de la couché de gélatine qui les sépare est égale à une demi-longueur d'ondulation de la lumière rouge. Chacune de ces lames minces agit donc comme une bulle de savon capable de réfléchir du rouge, et dont le système tout entier renvoie, par conséquent, à l'œil des rayons rouges.

De même, si plus loin on aperçoit du vert, c'est qu'en cet endroit la stratification est plus serrée, et que les lames minces n'ont plus pour épaisseur que la demi-longueur d'ondulation de la lumière verte. Et de même pour les autres parties du spectre. La *fig.* 3 représente d'une façon schématique le dépôt photographique partagé en lames minces, d'épaisseur décroissante du rouge au violet.

Il faut remarquer qu'il est impossible de représenter par une figure l'épaisseur vraie de ces dépôts. En effet, l'épaisseur de chaque lame, ou, ce qui revient au même, l'épaisseur de la demi-longueur d'ondulation est :

Pour le rouge..........	$\frac{1}{3300}$	de diamètre,
Pour le jaune..........	$\frac{1}{4000}$	»
Pour le violet.........	$\frac{1}{3000}$	»

En d'autres termes, supposons que la couche de gélatine sensible ait l'épaisseur d'une feuille de papier ordinaire ou de

$\frac{1}{10}$ de millimètre. Cette couche, après l'action photographique, se trouve partagée :

Dans le rouge, en 330 lames minces,
Dans le jaune, en 400 »
Dans le violet, en 500 »

L'éclat de la couleur observée tient au nombre considérable des lames minces superposées, car leurs effets s'ajoutent.

IV.

Ici se présentent deux questions : Par quel mécanisme se sont formées ces lames minces avec une épaisseur déterminée pour chaque couleur? Et ensuite, une fois formées, comment agissent-elles pour reproduire la lumière colorée qui leur a donné naissance?

Le dépôt est stratifié parce que la lumière qui a impressionné la couche était elle-même stratifiée pendant la durée de la pose dans la chambre noire. Et cette stratification, à son tour, est due à la présence du miroir de mercure. Chaque rayon lumineux qui traverse la couche sensible est renvoyé sur lui-même par ce miroir de mercure ; il en résulte, entre le rayon incident et le rayon réfléchi, cette sorte de conflit auquel on a donné le nom d'interférence. Le résultat de cette interférence est que les deux rayons ajoutent leurs actions en certains points où il y a, dès lors, un maximum lumineux. C'est là que se formeront les couches d'argent réduit. En d'autres points intermédiaires, les actions de deux rayons lumineux se retranchent au contraire et s'annulent. En ces points, l'action photographique étant nulle, il ne restera, après développement et fixage, que de la gélatine pure.

En définitive, on voit que l'action photographique n'a fait que fixer, en la remplaçant par un dépôt d'argent, la position de chaque maximum d'action lumineuse.

Or ces maxima d'action lumineuse sont séparés par des distances égales à une demi-longueur d'ondulation de la lumière employée ; c'est pourquoi les lames minces obtenues ont précisément cette épaisseur. La vibration lumineuse s'est, en

quelque sorte, moulée par voie photographique dans l'épaisseur de la lame impressionnée. Quant à l'explication des interférences, elle forme un long chapitre de la haute Optique, et nous ne pouvons ici qu'en rappeler le principe.

La lumière, comme le son, est une vibration qui se propage; lorsqu'on superpose deux rayons lumineux, lorsque, notamment, on renvoie le rayon par réflexion sur lui-même, on se trouve donc avoir superposé deux vibrations, celle du rayon incident et celle du rayon réfléchi. Or deux vibrations superposées peuvent ajouter leurs effets; dans ce cas, la résultante est un maximum. En d'autres points, les deux mouvements vibratoires se contrarient et s'annulent réciproquement; en ces points la résultante est nulle; il y a minimum, repos, ou absence de lumière. C'est ce qu'on appelle *interférence*. Le mot lui-même nous vient de la patrie de Newton et de Young. Il y fait partie de la langue courante et signifie intervention. « N'interférez pas avec moi », voilà ce que disent les Anglais.

On conçoit d'ailleurs facilement que la distance entre deux maxima d'interférence, ou la demi-longueur d'ondulation, varie suivant la vitesse de vibration de la lumière employée; et que, par suite, elle soit différente et déterminée suivant que l'on s'adresse à de la lumière rouge, à de la lumière jaune, etc.

C'est également la théorie des interférences qui permet d'expliquer la coloration des lames minces. Les deux faces qui limitent une lame mince réfléchissent la lumière incidente et renvoient ainsi vers l'œil deux rayons qui peuvent interférer. Si l'épaisseur de la lame mince, c'est-à-dire si la distance entre ces deux miroirs est précisément égale à une demi-longueur d'ondulation de la lumière rouge, c'est cette lumière qu'on percevra, parce que, alors, les vibrations dues à la lumière rouge sont concordantes, tandis que, pour les autres lumières, elles ne le sont plus et se détruisent par interférence. Pour cette raison, si l'on éclaire la lame mince en question avec de la lumière blanche, elle ne renvoie vers l'œil que le rouge, qui seul est visible. En faisant varier l'épaisseur de la lame, on fait varier la nature du rayon coloré renvoyé. Chaque lame mince choisit, en quelque sorte, parmi tous les rayons qui composent la lumière blanche, celui dont la demi-longueur

d'ondulation est égale à l'épaisseur de la lame. Tous les autres sont détruits par interférence.

On peut rapprocher la théorie de nos photographies colorées de celle du phonographe. Le son est constitué par des vibrations qui se moulent dans la couche phonographique en laissant une trace permanente capable de les reproduire après coup. De même, dans notre procédé, les vibrations lumineuses se moulent dans la couche sensible en y laissant un dépôt photographique permanent, capable, après coup, de réfléchir les vibrations lumineuses.

V.

La théorie qui précède est celle qui m'a guidé, et l'on peut la considérer comme vérifiée par le succès même de l'expérience. On peut ajouter encore d'autres vérifications expérimentales faites après coup sur l'épreuve colorée. Lorsqu'on regarde une bulle de savon d'abord normalement, puis de plus en plus obliquement, on voit la couleur changer; il en est de même, du reste, de tous les phénomènes de coloration dus aux interférences : couleurs des lames minces, de la nacre de perle, des plumes de colibris. La coloration, n'étant pas due à la couleur d'une substance, mais au jeu des vibrations lumineuses et aux épaisseurs qu'elles traversent, change avec l'obliquité, parce que le chemin parcouru dans une lame d'épaisseur constante varie selon cette obliquité. De fait, si l'on regarde une épreuve colorée du spectre sous une incidence de plus en plus rasante, on voit les couleurs changer : le vert prend la place du rouge, le bleu celle du vert, le violet celle du bleu, et l'ultra-violet, qui est invisible, celle du violet. C'est précisément ce que voulait la théorie.

Une seconde vérification est la suivante : Regardons une épreuve colorée du spectre normalement et humectons-la. La couche de gélatine ou d'albumine qui forme le cliché se gonfle, l'épaisseur des lames minces augmente considérablement, et, en un instant, toutes les couleurs disparaissent. C'est que l'épaisseur des lames minces gonflées correspond à la demi-longueur d'ondulation de l'infra-rouge, lequel est invisible pour l'œil; inversement, pendant la dessiccation, l'épais-

seur redevient ce qu'elle était primitivement, et les couleurs réapparaisssent. Si la dessiccation se fait uniformément, on voit les couleurs réapparaître; le rouge rentre en tête par l'extrémité qui était primitivement violette, traversant toute la longueur du cliché pour aller reprendre sa place; le jaune marche derrière lui, suivi du vert, et ainsi de suite jusqu'au violet. Toutes les couleurs se trouvent ainsi revenues à leur place.

VI.

Pour que la Photographie des couleurs devienne un jour pratique par le procédé que j'ai indiqué, il sera nécessaire d'opérer sur des plaques à la fois sensibles et isochromatiques. Il faut qu'elles soient sensibles afin que la pose soit aussi courte que possible; il faut qu'elles soient isochromatiques, c'est-à-dire que toutes les couleurs viennent en même temps. Au début de mes recherches, les plaques que j'employais étaient loin de satisfaire à ces deux conditions; elles exigeaient quelques minutes de pose pour le violet, une ou plusieurs heures pour le rouge et des durées de pose intermédiaires pour les autres couleurs. Aujourd'hui les plaques que j'emploie sont impressionnées par toutes les couleurs simultanément, en moins d'une demi-minute. Il est inutile de recourir à l'emploi d'écrans colorés pour prolonger la pose de certaines couleurs. Toutes viennent à la fois comme dans la Photographie ordinaire.

Le progrès, au double point de vue de l'isochromatisme et de la sensibilité, a donc été notable en moins d'un an. Il reste néanmoins de nouveaux progrès à faire. Cette durée de pose d'une demi-minute, pour un objet aussi brillant que le spectre, représente une pose beaucoup plus longue pour les images que donne la chambre noire dans les conditions ordinaires. De plus, l'isochromatisme actuellement obtenu n'est pas encore parfait; car c'est maintenant le rouge qui vient le mieux, c'est-à-dire que le but a été dépassé. L'isochromatisme des plaques actuelles, parfaitement suffisant pour obtenir des spectres complets, n'est pas encore suffisant pour l'obtention des images des objets naturels qui émettent, comme on le sait, de la lumière composée. C'est là le principal obstacle

qui reste à surmonter pour obtenir la photographie colorée d'un paysage ou d'un tableau. Quant aux difficultés théoriques, elles n'existent pas : le principe qui sert à obtenir l'image des couleurs simples permettra de reproduire aussi bien les couleurs composées.

VII.

Il me reste à ajouter quelques remarques sur la finesse des plaques employées pour la Photographie des couleurs. Ces plaques sont sans grains; la matière sensible y est répartie d'une manière continue. Dans les plaques au gélatinobromure communément employées, le bromure d'argent est distribué d'une manière discontinue sous forme de grains disséminés dans la gélatine et ayant chacun environ un ou deux millièmes de millimètre de diamètre. C'est pour cette raison que les plaques ordinaires au gélatinobromure ne peuvent convenir pour la production des couleurs, car, l'intervalle entre deux maxima lumineux n'étant que d'un cinq millième de millimètre, il est évident qu'on ne peut en reproduire le dessin au moyen de grains qui sont relativement aussi grossiers.

Pour obtenir des plaques continues, il suffit de couler sur un verre une couche d'albumine, de gélatine, etc., contenant une petite quantité d'un sel haloïde alcalin, puis, quand la couche est sèche, de la tremper, comme dans les anciens procédés à l'albumine et au collodion.

On remarquera que les couches sensibles continues ainsi obtenues peuvent avoir des applications utiles en dehors même de la Photographie des couleurs, et cela en raison de leur finesse ou, pour mieux dire, de leur continuité. Il est certain, en effet, qu'elles sont capables de produire exactement les détails d'une image, quand même ces détails auraient une dimension inférieure à cinq millièmes de millimètre; car l'intervalle entre deux maxima lumineux de la lumière violette a précisément cette dimension. On peut donc espérer que la micrographie photographique saura quelque jour tirer parti de la propriété que je viens de signaler.

LA PHOTOGRAPHIE

SANS OBJECTIF,

CONFÉRENCE DU 27 DÉCEMBRE 1891

Par M. R. COLSON,
Capitaine du Génie,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

Mesdames, Messieurs,

Le nom de *Photographie sans objectif* peut paraître grave et incomplet, en ce sens que, s'il indique qu'on ne se sert pas d'un objectif, il ne dit pas quel procédé on emploie.

On pourrait y répondre que : à la place de l'objectif on ne met rien du tout; mais cela ne serait pas tout à fait exact, parce que l'ouverture laissée ainsi béante dans la paroi de la chambre noire par l'enlèvement de l'objectif serait beaucoup trop grande pour donner des images d'une netteté suffisante.

En réalité, on remplace l'objectif par une plaque métallique, dans laquelle on a pratiqué une petite ouverture ayant un diamètre de seulement quelques dixièmes de millimètre.

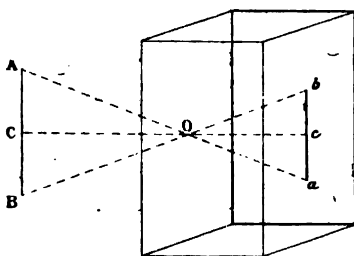
Le nom de *sténopé* (composé de deux mots grecs : στενός, petit, et ὀπή, ouverture) conviendrait bien pour résumer le nom de l'appareil, et celui de *sténopéphotographie* pour spécifier l'application de ce mode de formation d'images à la Photographie.

Base du procédé. — On sait que, si l'on pratique une petite ouverture dans la paroi antérieure d'une caisse formant chambre noire, les images des objets extérieurs viennent se peindre sur la paroi opposée.

Ainsi, un point A (*fig.* 1) donne lieu à une image, petite

surface éclairée dont le centre *a* se trouve sur le prolongement de la ligne droite qui joint le point A au centre O de l'ouverture. Supposons que nous parvenions à réduire cette petite surface éclairée à de très faibles dimensions, et à la concentrer au point *a*; nous dirons alors que le point *a* est l'image du point A donnée par l'ouverture O.

Fig. 1.



De même, un autre point quelconque B fera son image en *b*. On aura ainsi l'image d'un contour quelconque, et d'un objet quelconque.

Application à la Photographie. — Pour photographier les images ainsi produites, il suffit de les recevoir sur une surface sensible à la lumière. Cette idée a dû certainement venir à bien des esprits depuis que la Photographie est connue; on trouve, en effet, la trace d'un certain nombre d'essais tentés par différents expérimentateurs; mais, comme ces images sont peu éclairées, en raison de la petitesse de l'ouverture nécessaire pour la netteté, les substances employées autrefois, telles que le bitume de Judée et le chlorure d'argent, ne possédaient pas une sensibilité assez grande pour être impressionnées en un temps suffisamment court. Il a fallu toute la sensibilité du gélatinobromure d'argent pour permettre de réaliser cette idée. M. Méheux est le premier qui ait montré en public des épreuves obtenues avec une petite ouverture. (Communication à la Société française de Photographie, mai 1886.)

Propriétés. — Mais, dira-t-on, quel intérêt y a-t-il à s'occuper des images produites par une petite ouverture? C'est qu'elles présentent certaines propriétés remarquables dont on peut tirer un parti précieux :

1° D'abord, caractère de très grande simplicité; il est inutile d'insister sur ce point bien évident.

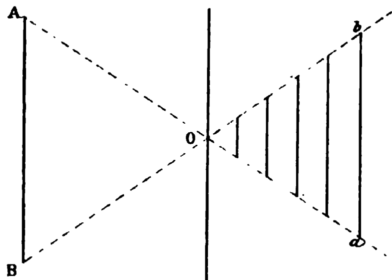
2° L'image d'une ligne droite AB est une ligne droite *ab*; car tout point C, pris sur AB, fait son image en *c* dans le plan AOB, c'est-à-dire sur *ab*.

Il en résulte que les longues lignes droites des monuments et les longues perspectives sont rendues avec une exactitude mathématique; il n'y a pas de déformation, même sur les bords du cliché. On sait qu'il n'en est pas ainsi, généralement, avec les objectifs.

Cette propriété peut être utilisée aussi pour les vues stéréoscopiques, où l'on recherche l'exactitude de la perspective; et aussi pour la topographie, en raison de cette exactitude et de la facilité avec laquelle on peut déterminer le point de vue, qui est le centre de l'ouverture.

3° L'image d'un objet AB (*fig.* 2), placé à une certaine distance

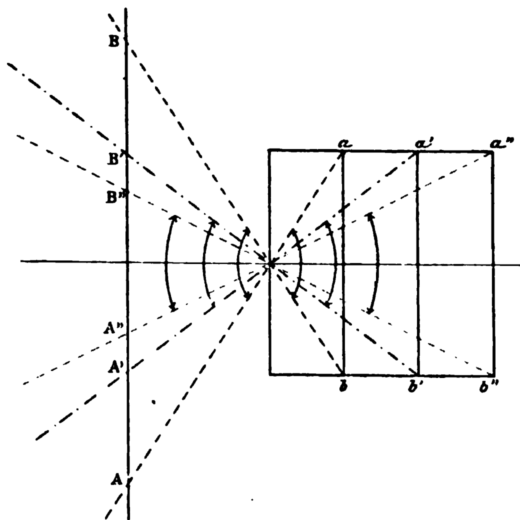
Fig. 2.



de l'ouverture O, ne se fait pas dans une position unique comme avec les objectifs; elle a lieu en *ab* ou dans une des positions voisines. On peut ainsi faire varier entre certaines limites la distance de la surface sensible à l'ouverture, et par suite la grandeur de l'image, puisque ces deux quantités sont proportionnelles.

On voit aussi que l'on peut faire varier le champ AOB (*fig.* 3),

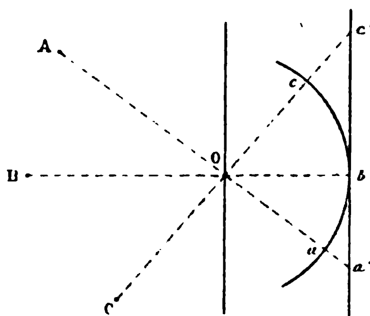
Fig. 3.



c'est-à-dire l'angle à l'intérieur duquel sont placés les objets qui forment leurs images sur la surface sensible.

Il en résulte encore que la surface sensible peut prendre

Fig. 4.



soit une forme plane, soit une forme cylindrique, qui convient aux vues panoramiques. Par exemple, les points ABC (*fig.* 4)

font leurs images soit en $a'bc'$ sur une surface plane, soit en abc sur une surface cylindrique qui jouit des propriétés recherchées pour les vues panoramiques; on sait que, dans ce cas, les angles horizontaux sont conservés; l'arc ab est proportionnel à l'angle AÔB.

4° Des objets placés à des distances très différentes sont également au point. Cette propriété trouve son application dans les cas où l'on a à photographier en même temps des objets très rapprochés et d'autres éloignés.

5° Le champ est très étendu; il atteint 90° avec une surface plane et 120° avec une surface cylindrique. Le concours de cette propriété et de la précédente donne le moyen d'opérer lorsqu'on est obligé de se placer très près des objets à représenter; il en est ainsi, en particulier, dans la reproduction de monuments ne laissant en avant d'eux qu'un emplacement étroit.

6° Enfin, le léger flou inhérent au procédé remplace la sécheresse de l'objectif par une harmonie artistique.

Il permet aussi, au moyen d'une réduction convenable, de transformer les hachures d'un dessin en une représentation à modelé continu.

NETTETÉ.

Nous montrerons tout à l'heure comment ces propriétés de la petite ouverture trouvent leur emploi dans différentes applications. Mais, auparavant, il est indispensable d'indiquer comment on parvient à donner à ces images photographiques toute la netteté dont elles sont susceptibles. Cette question est capitale.

Pour cela, il est nécessaire d'étudier ce qui se passe dans cette chambre noire et comment les images s'y forment.

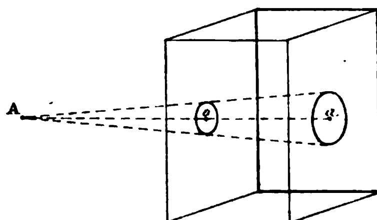
Théorie de l'ombre géométrique. — Ce phénomène est connu depuis très longtemps; Aristote savait que l'on obtient ainsi l'image du Soleil et de la Lune. Mais la première explication semble avoir été donnée par Maurolic; elle fut précisée par Kepler, puis par Porta, physicien napolitain du XVIe siècle,

qui passe pour avoir inventé la chambre noire. Celui-ci a reconnu qu'il y avait avantage, au point de vue de la netteté, à pratiquer l'ouverture dans une lame de métal et à lui donner des bords minces et lisses.

Toutes ces explications se résument en celle-ci :

Un point A envoie de la lumière, au travers de l'ouverture, sur l'écran placé au fond de la chambre. La surface éclairée

Fig. 5.



par ce point a la même couleur que le point A et la même forme que l'ouverture.

Si, au lieu d'un point A isolé, on considère un objet formé par la réunion de points, l'image de l'objet est due à la juxtaposition de toutes ces petites surfaces élémentaires qui empiètent les unes sur les autres.

Le contour de l'image sera donc d'autant plus net que ces surfaces seront plus petites. Par conséquent, il y aurait avantage, d'après cela, à diminuer le plus possible les dimensions de l'ouverture.

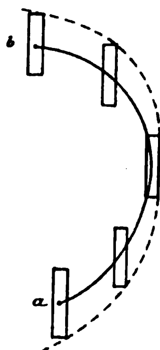
Cette théorie est appelée *Théorie de l'ombre géométrique* parce qu'elle suppose que l'ombre commence brusquement sur le cône ayant pour sommet le point A et pour base l'ouverture. Nous verrons quelles restrictions il faut y apporter d'après les connaissances de la science moderne.

Forme de l'ouverture. — Mais, d'abord, il convient d'éclaircir le point suivant :

Quelle est la forme la plus avantageuse à donner à l'ouverture?

Considérons une ouverture de forme allongée, rectangulaire par exemple, une fente (*fig.* 6). Chaque point aura comme image un rectangle semblable à l'ouverture, et l'image d'un contour AB sera formée par l'enveloppe de tous les rectangles qui ont leurs centres sur *ab*. On voit que cette enveloppe s'éloigne d'autant plus du contour idéal *ab* que les rectangles sont plus allongés dans le sens perpendiculaire à la courbe. Donc, avec

Fig. 6.



une ouverture allongée, il y a déformation et diminution de la netteté.

On est ainsi amené à employer une ouverture ne présentant d'allongement dans aucune direction, c'est-à-dire une ouverture circulaire.

Cela posé, y a-t-il réellement avantage à réduire le plus possible le diamètre de ce cercle?

Non, car le phénomène est plus compliqué que l'indique la théorie de l'ombre géométrique. Il faut, en effet, tenir compte de la diffraction, et je suis obligé d'entrer ici dans quelques considérations fondamentales relatives à la théorie des ondulations, sans lesquelles il serait *impossible* de se rendre compte des résultats expérimentaux.

Théorie de la diffraction. — On admet aujourd'hui que la propagation de la lumière s'effectue par l'intermédiaire d'un milieu, appelé éther, qui remplit non seulement les espaces

célestes, mais encore les interstices des molécules de tous les corps. Ce milieu a une densité extrêmement faible.

La lumière est due au mouvement vibratoire des molécules d'éther dans un plan perpendiculaire au rayon.

Un point d'une source lumineuse est en vibration. Considérons une direction partant de ce point; elle est occupée par une suite de molécules d'éther. La molécule d'éther la plus voisine de ce point lumineux entre en vibration perpendiculairement à la direction en question. Ce mouvement se communique à la molécule d'éther suivante, et ainsi de suite.

Si, à un moment quelconque, on immobilise cette série de molécules, elles sont réparties le long d'une courbe sinueuse analogue à celle qu'affecte une corde dont on fait osciller une extrémité. Un instant après, ces mêmes molécules se trouvent réparties comme si cette courbe se déplaçait le long du rayon en restant identique à elle-même. Il faut bien remarquer que les molécules ne se déplacent pas le long du rayon, pas plus que celles de la corde le long de celle-ci; chaque molécule reste dans un plan perpendiculaire au rayon.

Les ondulations de cette courbe se meuvent avec une vitesse qui est précisément la vitesse de propagation de la lumière, soit 300 000^{km} par seconde.

Les ondulations sont d'autant plus serrées les unes contre les autres que le nombre des vibrations par seconde est plus grand.

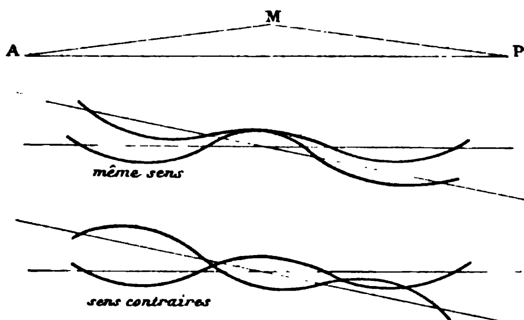
L'écartement de deux ondulations successives de même sens est ce qu'on appelle la *longueur d'onde*. C'est la distance qui sépare deux molécules successives se trouvant à chaque instant dans la même position. La demi-longueur d'onde sépare deux molécules ayant à chaque instant des mouvements de sens contraires. C'est la longueur d'onde qui caractérise la nature de chaque rayon lumineux, c'est-à-dire l'espèce d'effet produit par ce rayon soit sur l'œil, soit sur les substances photographiques. Les rayons qui nous donnent la sensation rouge ont une longueur d'onde de 6 dix-millièmes de millimètre, les rayons jaunes de 5 dix-millièmes, et les rayons violets de 4 dix-millièmes. Ceux qui produisent le plus

d'effet sur le gélatinobromure (raie G du spectre solaire, entre le bleu et le violet) ont une longueur d'onde de 430 millioniémes de millimètre.

Les molécules d'éther ne s'écartent pas toujours du rayon de la même quantité; l'étendue du chemin parcouru par chaque molécule dans son oscillation est l'amplitude de son mouvement. L'amplitude est indépendante de la longueur d'onde; elle n'a d'influence que sur l'intensité, c'est-à-dire sur la grandeur de l'effet produit; l'intensité est proportionnelle au carré de l'amplitude.

Interférences. — Supposons maintenant que deux rayons lumineux AP, AMP (*fig.* 7), provenant d'un même point A,

Fig. 7.



se rencontrent sous un angle très faible après avoir parcouru des chemins différents.

La molécule d'éther qui est en P est sollicitée en même temps par ces deux mouvements. Si ces deux actions sont de même sens, elles s'ajoutent, et, comme elles sont sensiblement parallèles eu égard à la petitesse de l'angle, la molécule P prend un mouvement vibratoire dont la longueur d'onde est celle des deux rayons composants, et dont l'amplitude est la somme des amplitudes des deux mouvements; il y a donc alors augmentation de l'intensité lumineuse en ce point.

Si les deux mouvements sont de sens contraires, l'amplitude de P est la différence des amplitudes des deux mouvements,

et il y a diminution de lumière. Il y a extinction complète si les deux amplitudes sont égales.

Ce phénomène a reçu le nom d'*interférence.*

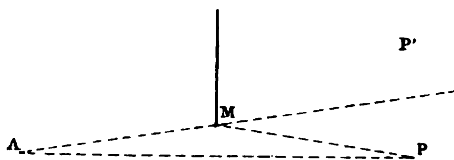
Supposons que le rayon AMP soit en retard d'une longueur d'onde sur AP; dans la région de rencontre des deux rayons, les boucles des deux courbes coïncident, les mouvements sont de même sens, les amplitudes s'ajoutent, il y augmentation de lumière. Il en serait encore de même si la différence de marche, au lieu d'être d'une seule longueur d'onde, était d'un nombre exact de longueurs d'onde.

Supposons maintenant que le rayon AMP soit en retard d'une demi-longueur d'onde; les mouvements sont alors de sens contraires, et il y a diminution d'intensité lumineuse. Il en serait encore de même si la différence était d'un nombre quelconque, mais exact, de demi-longueurs d'onde.

Tel est le principe de la théorie des interférences, conséquence immédiate de la théorie des ondulations. Nous pouvons désormais comprendre facilement ce qui se passe lorsque la lumière rase les bords d'un écran ou traverse une ouverture.

Diffraction produite par le bord d'un écran. — Soient M

Fig. 8.



(*fig.* 8) le bord d'un écran opaque, A un point lumineux qui envoie de la lumière dans toutes les directions, et considérons un point P situé dans la région de l'espace qui devrait être éclairée, de l'autre côté de l'écran, d'après la théorie de l'ombre géométrique.

La molécule d'éther P est sollicitée par le mouvement vibratoire du rayon direct AP. Mais ce rayon n'est pas le seul à agir en P. En effet, menons un rayon AM; le mouvement

vibratoire du point A est transmis en M le long de AM; le point M transmet, à son tour, le mouvement aux molécules voisines dans le prolongement de AM et aussi dans les directions qui s'en écartent peu, par exemple dans la direction MP. Cette transmission oblique est d'autant plus faible que l'angle est plus grand. Il en est de même des autres rayons issus de A.

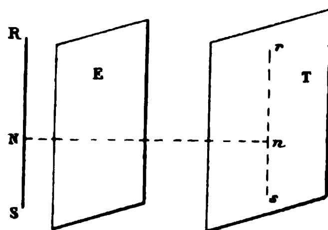
Le mouvement que prend la molécule P est la résultante de toutes ces actions qui viennent passer par le point P. Si toutes ces actions sont de même sens, il y aura en P une forte lumière; si elles s'annulent réciproquement, il y aura obscurité. Entre ces deux cas extrêmes, il y aura des variations de lumière allant de ce maximum à ce minimum.

De plus, puisque à partir du point M, le mouvement lumineux peut se propager obliquement, un point P', placé dans l'ombre géométrique, sera éclairé aussi, mais d'autant moins qu'il s'éloignera davantage de la direction AM.

On dit alors qu'il y a *diffraction;* la lumière qui rase le bord d'un écran semble se briser et se diviser à partir de ce bord dans certaines directions, de façon qu'il y a concentration de lumière en certains points, diminution en d'autres, et éclairement même en des points qui, d'après la théorie de l'ombre géométrique, devraient être dans l'obscurité.

Franges produites par le bord d'un écran. — Considérons

Fig. 9.



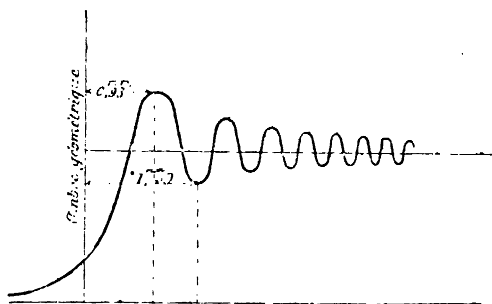
un tableau vertical T (*fig.* 9), éclairé par une série de points lumineux répartis sur une verticale SR, et interposons un écran E à bord rectiligne vertical.

D'après la théorie de l'ombre géométrique, nous devrions avoir sur le tableau une droite *sr* représentant la séparation brusque de l'ombre et de la lumière. Au lieu de cela, on observe des bandes, alternativement brillantes et obscures, parallèles à l'ombre du bord de l'écran. Les positions et les intensités de ces bandes sont conformes à la théorie des interférences et en constituent une très belle vérification.

Cette expérience a été réalisée par Fresnel, qui a mesuré tous les éléments du phénomène. (Projection de l'expérience de Fresnel.)

En portant sur des verticales des longueurs proportionnelles

Fig. 10.



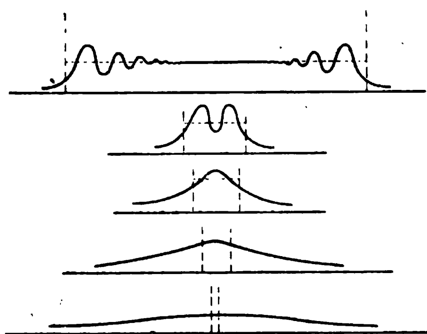
à l'intensité en chaque point (*fig.* 10), on obtient la courbe représentée ci-contre. On voit que l'intensité lumineuse passe par un maximum à 1^{mm} environ de l'ombre géométrique, et décroît, à partir de ce point, avec affaiblissements et renforcements successifs du côté de la lumière, et d'une façon continue du côté de l'ombre.

Ce résultat a été obtenu avec une lumière rouge; avec une lumière bleue, la frange brillante serait un peu plus rapprochée de l'ombre géométrique, et les franges plus serrées.

Franges d'une fente. — Ajoutons maintenant un deuxième écran, dont le bord soit parallèle au premier. Il constitue avec celui-ci une fente dont la largeur peut être modifiée à volonté.

Laissons d'abord les deux bords à une distance relativement grande, par exemple de plusieurs centimètres (*fig.* 11). Chacun des deux bords donne lieu à ses franges propres, comme dans l'expérience précédente. Ces deux systèmes de franges viennent se confondre, au milieu de la région éclairée, sur

Fig. 11.



une horizontale qui représente l'intensité telle qu'elle serait si les écrans n'existaient pas.

Rapprochons les deux bords : les franges empiètent les unes sur les autres. Il arrive un moment où il ne reste que les deux franges brillantes extrêmes, séparées par une frange obscure.

Rapprochons encore ; les deux franges brillantes extrêmes coïncident et forment une seule frange brillante occupant le milieu de la région éclairée. L'intensité diminue progressivement de chaque côté, avec des franges peu accentuées.

Puis, au fur et à mesure que la distance des deux bords diminue, la lumière s'affaiblit et s'épanouit en même temps de plus en plus. La région éclairée devient de plus en plus grande.

Conséquences au point de vue de la nettete. — L'examen de ces aspects nous amène tout naturellement à la considération de la netteté.

La netteté d'une image est caractérisée par la facilité plus

ou moins grande avec laquelle on peut distinguer cette image du milieu qui l'entoure. L'image d'un point sera d'autant plus nette : 1° qu'elle sera plus étroite; 2° qu'elle sera plus ou moins intense par rapport au fond; 3° et que le passage de son intensité à celle du fond sera plus brusque et plus rapide.

Or, nous savons déjà qu'une ouverture large donne une image large et par conséquent sans netteté. Nous voyons de plus, ici, qu'une ouverture très étroite épanouit considérablement l'image, diminue l'intensité relative, et ralentit énormément la rapidité du passage; elle aussi est donc incapable de donner une image suffisamment nette.

La solution la plus convenable doit se trouver entre ces deux extrêmes; et, en effet, si l'on examine l'aspect des courbes successives, on voit que la troisième des formes représentées ci-contre satisfait beaucoup mieux aux trois conditions énoncées.

Ouverture circulaire. — Si l'on remplace la fente par une ouverture circulaire, on observe des phénomènes semblables, dans lesquels la forme rectiligne est remplacée par la forme circulaire.

On comprend ainsi que le petit cercle qui constitue l'image d'un point produite par une ouverture circulaire puisse être réduit à de très petites dimensions et présenter un maximum de netteté si l'on choisit convenablement le diamètre de l'ouverture.

Tout ce qui précède s'applique à une position déterminée du tableau par rapport à l'ouverture. Si le tableau se rapproche ou s'éloigne de l'ouverture, les différences de marche sont modifiées, et l'effet résultant en chaque point varie suivant la position du tableau. La netteté, qui dépend de cet effet, doit donc varier suivant la distance de la surface sensible à l'ouverture. Elle dépend aussi de la distance du point lumineux à l'ouverture.

Résumé. — En résumé, il résulte de ces considérations théoriques que le maximum de netteté doit être obtenu avec

une ouverture circulaire, ni trop grande ni trop petite, et que le diamètre donnant ce maximum de netteté doit varier suivant les distances de la surface sensible et de l'objet à l'ouverture.

Il était indispensable de montrer comment la théorie des ondulations permet de prévoir et d'expliquer les résultats expérimentaux que nous allons exposer, lesquels sont absolument incompréhensibles si l'on s'en tient à la théorie de l'ombre géométrique, la seule qui soit indiquée dans les Traités élémentaires de Physique.

Détermination expérimentale du maximum de netteté. — Le diamètre le plus convenable dans chaque cas pourrait être trouvé expérimentalement; pour cela, il y aurait à faire varier successivement le diamètre de l'ouverture, la distance de la surface sensible, et la distance de l'objet. Mais ce serait un travail considérable et fort long. Il est préférable de se placer d'abord dans un cas simple, bien déterminé, et de chercher ensuite, en partant de ce résultat, et en s'appuyant sur la théorie, une formule générale s'appliquant dans toutes les circonstances. C'est une méthode fréquemment employée dans les sciences physiques.

Ce cas simple s'obtient en considérant un objet très éloigné; il n'y a plus alors qu'à faire varier le diamètre de l'ouverture et la distance de la surface sensible.

Voici comment j'ai réalisé ce programme.

J'ai reçu sur des plaques au gélatinobromure les images du dôme des Invalides, situé à environ 200^{m}. Ces plaques étaient disposées successivement à des distances variant de 10^{cm} en 10^{cm}; et, pour chaque distance, le diamètre de l'ouverture variait de dixième en dixième de millimètre.

Comme les images correspondant à une même distance ont la même grandeur, leur netteté peut être comparée. On reconnaît ainsi facilement que, à chaque distance de la plaque correspond un diamètre donnant le maximum de netteté. (Projections de plusieurs exemples.)

De toutes ces expériences j'ai formé un tableau, dont la projection montre le détail.

Si l'on représente par F la distance de la surface sensible à l'ouverture, et par d le diamètre qui donne le maximum de netteté pour chaque valeur de F, on constate que l'expression $\frac{d^2}{F}$ est sensiblement constante et égale à $0^{mm},00081$, d'où

$$d^2 = 0^{mm},00081\ F,$$

formule qui permet de calculer d pour chaque valeur de F.

Mais cette formule ne s'applique qu'au cas où l'objet est éloigné.

Voici comment on passe à la formule générale.

Formule générale. — Soit une ouverture circulaire de dia-

Fig. 12.

mètre d, un point A placé à une distance D, qui envoie de la lumière en P situé à une distance f (*fig.* 12).

L'effet produit en P est caractérisé par la différence de marche du rayon central AP et du rayon AMP du bord.

Cette différence de marche est

$$AM - AO + MP - OP$$

ou, en remplaçant ces longueurs par leurs valeurs,

$$\sqrt{D^2 + \frac{d^2}{4}} - C + \sqrt{f^2 + \frac{d^2}{4}} - f = nl,$$

en appelant l la longueur d'onde, qui est ici $l = 0^{mm},00043$ (radiation de la raie G, ainsi que nous l'avons vu), et en dé-

signant par n un facteur qui caractérise le maximum de netteté.

L'expérience permet de déterminer la valeur de n. La formule générale précédente se réduit en effet à

$$d^2 = 8\,nl\,\mathrm{F}$$

dans le cas d'un objet éloigné. D'autre part, l'expérience conduit à

$$d^2 = 0^{\mathrm{mm}},00081\ \mathrm{F}.$$

Comme d et F sont alors les mêmes, on doit avoir

$$8\,nl = 0,00081,$$

d'où

$$n = \frac{1}{4}.$$

C'est-à-dire que, lorsqu'il y a maximum de netteté, la différence de marche du rayon central et d'un rayon du bord est égale à $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde.

Si, maintenant, nous remplaçons n par cette valeur, nous obtenons la formule générale définitive

$$d^2 = \frac{0^{\mathrm{mm}},00081\,.\,\mathrm{D}\,.\,f}{\mathrm{D} + f}$$

qui permet de calculer d lorsqu'on connaît D distance de l'objet et f tirage de la chambre.

J'ai appliqué cette formule dans les cas les plus variés; elle a toujours été vérifiée par l'expérience; le diamètre calculé a toujours donné le maximum de netteté, même dans les cas où l'objet était seulement à quelques centimètres de l'ouverture. Il n'est nécessaire de l'appliquer que lorsque les objets sont très rapprochés.

Le Tableau ci-dessous donne, pour chaque diamètre, le tirage à employer, ainsi que le minimum de la distance à laquelle l'objet doit être placé et au-dessous duquel on doit appliquer

la formule générale; ces quantités sont exprimées en millimètres.

d	F	LIMITES DE F	MINIMUM de distance de l'objet
0,2	50	30 à 80	130
0,3	110	80 150	450
0,4	200	150 250	1.000
0,5	300	250 370	2.000
0,6	440	370 520	3.300
0,7	610	520 700	4.920
0,8	800	700 900	6.200
0,9	1.000	900 1110	11.240
1,0	1.230	1110 1360	15.110

USAGE.

On peut se servir avantageusement d'une lame de zinc ou de cuivre; on amorce l'ouverture au moyen d'une mèche à tranchant incliné sur l'axe, puis on termine en enfonçant une aiguille jusqu'à un trait marqué d'avance correspondant au diamètre à obtenir.

MM. Dehors et Deslandres construisent, en particulier, un système rotatif s'appliquant à toutes les chambres noires photographiques, et permettant de démasquer soit une seule ouverture pour vues simples, soit deux ouvertures identiques, pour vues stéréoscopiques. Les diamètres de ces ouvertures varient depuis $\frac{3}{10}$ de millimètre, et permettent d'employer tous les tirages possibles de la chambre dont on dispose. Cette série donne le moyen de faire varier le champ et la grandeur des images sans changer la place de l'appareil.

On fait la mise en plaque avec une ouverture plus grande qui donne plus de lumière sur le verre dépoli et qui produit des images encore assez nettes pour qu'on puisse reconnaître les objets; on choisit le tirage d'après le champ et la grandeur d'images qu'on veut obtenir, et l'on en déduit le diamètre à employer.

Temps de pose. — La durée de pose est essentiellement variable, suivant la nature de l'objet, sa distance, son éclairement, sa coloration, la sensibilité de la substance, etc. Aussi est-il impossible de donner des chiffres précis; on ne peut indiquer que quelques exemples. Voici ce qui se rapporte à une ouverture de $\frac{5}{10}$ de millimètre, avec un tirage de 30cm et des plaques Lumière marque bleue.

Lointains.....	4 à 5 secondes.
Objets clairs moins éloignés.....	10 à 15 »
Premiers plans éclairés.....	1 à 2 minutes.
» » moins éclairés.....	4 à 5 »
Reproduction de gravures sans changement d'échelle.....	15 »

En sacrifiant un peu de netteté, on peut rapprocher la surface sensible de l'ouverture et diminuer le temps de pose. C'est ainsi que M. Vidal a exécuté un instantané en $\frac{1}{10}$ de seconde, en plaçant la plaque à 4cm d'une ouverture de $\frac{4}{10}$ de millimètre.

Applications. — Un grand nombre de projections et d'épreuves montrent que ce procédé permet d'obtenir une netteté très satisfaisante, donnant des détails assez petits qui ne dépassent guère, dans certains cas, le $\frac{1}{10}$ de millimètre. On voit aussi qu'il est apte à toutes les dimensions d'images et à un grand nombre d'applications, telles que: vues de monuments et de paysages, vues panoramiques, en perspective plane ou cylindrique, — vues stéréoscopiques, — topographie, — représentations de statues, — et reproductions transformant les gravures et dessins à hachures en un modelé continu au moyen d'une réduction de moitié.

Le conférencier termine en appelant l'attention sur les services précieux que ce procédé est ainsi susceptible de rendre à la Photographie.



LA PHOTOGRAVURE

EN RELIEF ET EN CREUX.

LA PHOTOCHROMOGRAPHIE

ET LEURS APPLICATIONS A L'INDUSTRIE DU LIVRE,

CONFÉRENCE DU 7 FÉVRIER 1892

(RÉSUMÉ.)

Par M. **LÉON VIDAL**,

Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs, Membre de la Société Française de Photographie.

Mesdames, Messieurs.

Pour la première fois, depuis le début de ces conférences. le sujet à traiter est une question d'art plutôt qu'une application scientifique de la Photographie ou, pour mieux dire, il y a, dans les applications qui vont nous occuper, une alliance très intime de la science photographique avec les résultats artistiques que les procédés de cette science toute spéciale peuvent produire.

L'illustre M. Janssen nous a dit avec cette autorité, cette hauteur de vues qui caractérisent toutes ses allocutions, que la Photographie s'était anoblie depuis qu'elle avait pu être classée au rang des sciences qui servent à l'étude des choses de l'Univers.

Cela est absolument vrai.

Nous ajouterons qu'elle a d'autres titres de noblesse, non moins sérieux, ce sont ceux que lui ont conquis ses applications à l'expansion, à la vulgarisation par la multiplication des

images, à la vulgarisation de toutes les grandes découvertes scientifiques, de tous les chefs-d'œuvre de l'art, de toutes les observations et conceptions pouvant affecter une forme et se manifester à l'aide d'une méthode graphique.

Ces applications font l'objet de cette conférence; le sujet est vaste, et j'aurai de la peine à le comprimer dans le cadre étroit qui m'est imposé.

Pour être suffisamment complet, il faudrait consacrer à cette question tout un cours.

M. Janssen en a dit autant à propos de la Photographie astronomique.

M. Demenÿ a exprimé la même vérité quant à la science photochronographique.

A mon tour, j'insiste sur ce point et j'y joins une preuve en montrant le programme du cours de Reproductions industrielles de cette année à l'École nationale des Arts décoratifs. Ce cours, en entier, est consacré aux procédés et applications indiqués dans le titre de la présente conférence.

D'autres déclarations de même nature seront certainement encore apportées ici même.

Je tiens à ce qu'il en soit pris acte, me rappelant ce que nous a dit M. le colonel Laussedat, l'éminent directeur du Conservatoire : Parmi les objections soulevées à l'encontre de la création d'une chaire de Photographie, dans ce bel établissement, il y en avait une relative à l'insuffisance des matières d'enseignement pour un cours devant avoir au moins quatre-vingts leçons réparties en une rotation de deux années.

Cette objection a été faite évidemment avec une entière bonne foi, il n'en est donc que plus utile d'y répondre victorieusement, à l'aide des déclarations et des preuves émanées d'hommes compétents dans les diverses branches des applications photographiques.

Puisque l'occasion m'en est offerte, veuillez me permettre de me considérer comme votre interprète, en remerciant M. le colonel Laussedat pour le service signalé par lui rendu à la cause de l'enseignement photographique en organisant ces conférences.

Il a droit à l'expression de toute notre gratitude.

I

On sait ce que c'est que la gravure, aussi me bornerai-je à rappeler que cet art, déjà très ancien, a été mis en pratique avant l'invention de la Photographie, comme il l'est encore actuellement, à l'aide de deux méthodes parfaitement distinctes qui sont la gravure en relief, c'est-à-dire celle qui a pour objet l'exécution de planches gravées où les parties superficielles en saillie produisent les noirs à l'impression, et la gravure en creux, inverse de l'autre et dans laquelle les noirs des images sont obtenus à l'aide des parties en contre-bas creusées dans la planche.

La gravure en relief, exigeant des creux assez profonds, a généralement été exécutée sur du bois, à cause de la difficulté pour l'artiste graveur d'entamer assez profondément le métal à l'aide du burin.

Quant à la gravure en creux, elle s'exécutait sur métal soit avec le burin, soit en recourant à une morsure chimique à travers les espaces du métal débarrassés, à la pointe, d'une réserve formant protection contre le mordant acide.

Telle était, en quelques mots, la gravure avant l'invention de la Photographie et à l'époque de cette invention par Nicéphore Niepce.

L'application de la Photographie à la Photogravure date des premiers essais de Nicéphore Niepce qui eurent lieu par l'emploi du bitume de Judée, appelé à former de toutes pièces, à la suite d'une insolation à travers un cliché, une réserve analogue à celle qui était créée avec une pointe par un artiste graveur.

Ce fait important date donc des premiers jours de la Photographie et l'on n'agit pas autrement, aujourd'hui encore, dans la pratique courante de la Photographie en relief et aussi de la Photographie en creux des images au trait ou au pointillé.

L'un des premiers travaux de Photogravure industrielle qui aient été accomplis à la suite de la découverte de Niepce a eu pour base un procédé dû à Talbot, procédé dans lequel une

substance colloïde, additionnée d'un sel de chrome, constituait la réserve au lieu de bitume de Judée.

L'action de la lumière est en ce cas la même : elle rend insoluble les parties insolées et l'on obtient la réserve voulue en dissolvant les parties de l'enduit non insolées et par suite ayant conservé leur solubilité dans l'eau chaude ou froide, suivant la nature de la substance colloïde, gélatine ou albumine par exemple.

Une des premières gravures de Talbot ainsi obtenue a été publiée en 1861.

Vers cette époque, de nombreux chercheurs s'étaient voués à l'étude des moyens les plus propres à l'application de la Photographie à la Gravure; les belles planches de Ch. Nègre furent alors très remarquées; il faut citer aussi les travaux de MM. Pretsch, Poitevin et Garnier parmi les auteurs des principales découvertes de procédés qui, graduellement, ont conduit la Photogravure aux perfectionnements qui nous la font admirer aujourd'hui.

Nous venons de nommer Poitevin. Nous tenons à insister un instant sur l'œuvre de ce troisième inventeur des procédés photographiques après N. Niepce et Daguerre.

C'est à Alphonse Poitevin surtout que l'on doit les principaux moyens d'obtenir par la Photolithographie et la Photocollographie, par l'emploi, en général, d'un mucilage bichromaté, des images à base de carbone et, par suite, d'une stabilité certaine.

La plupart des procédés industriels actuels sont basés sur ses travaux et découvertes, notamment la Photocollographie (anciennement *Phototypie*) qui, sans être une méthode de Photogravure, constitue cependant un moyen d'impression à l'encre grasse et dont maintes applications sont faites à titre auxiliaire à l'art de la Photogravure soit en relief, soit en creux.

A mesure que la Photogravure s'est perfectionnée, elle a été davantage appliquée à l'illustration du Livre, surtout à l'état de gravure typographique ou en relief. La maison Gillot, que tout le monde connaît bien, a donné à cet art spécial une très grande impulsion; elle pratiquait déjà avec succès le gillotage proprement dit, du nom de son inventeur, en créant la réserve

sur le métal par le transfert à sa surface d'une image à l'encre grasse. Il fallait naturellement une œuvre première déjà imprimée soit sur une pierre lithographique, soit à l'aide d'un cliché typographique. Cette méthode a bientôt cédé la place à un moyen plus direct et la réserve des images au trait a été alors obtenue sur du bitume en appliquant purement et simplement le procédé initial dû à N. Niepce.

Aujourd'hui, plus de vingt photograveurs exploitent avec succès à Paris ce même procédé, avec cette seule variante, rarement employée d'ailleurs, du remplacement du bitume de Judée par de l'albumine bichromatée, ce dernier enduit étant plus sensible à la lumière que le premier.

Grâce à la Photogravure en relief, on obtient d'une image de trait quelconque, soit provenant d'une gravure sur bois ou en creux, soit d'un dessin à la plume ou au crayon noir, des images absolument fidèles, mais réduites aux dimensions exigées par la justification de l'ouvrage à illustrer et transformées en clichés typographiques, soit en planches donnant l'image par les parties en relief et par suite de nature à être intercalées dans la composition typographique, avantage essentiel qu'on n'obtient pas avec les planches de gravure en creux.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de la Photogravure en relief de sujets au trait, c'est-à-dire de sujets dont le dessin et le modelé sont formés par des noirs purs et des blancs purs.

Les sujets à modelés continus, où la demi-teinte est formée par la dégradation douce du blanc au noir, semblaient exclus du nombre de ceux que la gravure en relief pouvait introduire dans son domaine; ils étaient plus spécialement réservés à la Photogravure en creux qui, ainsi qu'on va le voir, conduit au rendu parfait des demi-teintes à dégradation continue.

La difficulté qui s'opposait à l'emploi de la Photogravure en relief à la création de clichés typographiques, d'après des sujets sur nature à demi-teintes, a été tournée sinon vaincue, et l'on a de la sorte réalisé un des plus grands progrès parmi les applications de la Photographie à l'art du Livre.

Ce qui constitue le caractère essentiel de la planche typographique, c'est de donner les noirs de l'image par les parties en relief de la gravure. Il ne peut donc y avoir d'image typo-

graphique offrant des modelés continus, il faut que l'image, quel que soit son mode de formation, soit traduite par une gravure ne donnant que des espaces absolument noirs se détachant sur un fond absolument blanc ou de la couleur du papier employé, quelle qu'elle soit.

Il y a assez longtemps déjà, on avait remarqué que toute image photographique, à modelés continus, se transformait de façon à pouvoir être imprimée typographiquement si l'on interposait entre le négatif et la couche sensible un mince réseau, une fine mousseline, par exemple, ayant pour effet de griller l'image, de la diviser en un nombre considérable de points entourés d'espaces blancs.

En 1873, Woodbury, dont le nom mérite de figurer parmi ceux des principaux inventeurs de la Photographie, prenait un brevet pour une application de cette sorte; à la spécification de ce brevet étaient jointes deux images fort imparfaites, il est vrai; nous en reproduisons une ici à un point de vue purement historique (*fig.* 1).

La méthode des trames se répandait lentement; pourtant, en 1877, nous trouvons un exemple de ce mode de Photogravure dans un numéro du *Monde illustré:* c'est le portrait de Nordenskiöld par M. Carloman, de Stockholm.

Vers cette époque, Charles-Guillaume Petit, en France, et Ives, à Philadelphie, publiaient des procédés de Photogravure basés sur le même principe; à la trame était substitué un moyen plus rationnel d'imiter l'œuvre du graveur au burin : de là le nom de *Similigravure* donné à son procédé par M. Ch.-Guillaume Petit : une gélatine en relief, obtenue à l'aide de la lumière, était comprimée après noircissement sur une surface plastique où elle se contremoulait dans un réseau de lignes parallèles, tracées préalablement, sur cette matière molle à l'aide d'une machine à griser.

Il en résultait une véritable image typographique formée exclusivement de blancs et de noirs. Cette image, reprise par la Photographie, permettait d'obtenir le cliché négatif et d'arriver avec son intervention à la planche gravée en relief.

Plus tard, en 1888, M. Sartirana faisait connaître une méthode basée sur un principe analogue.

Divers chercheurs très connus avaient, d'ailleurs, publié

Fig. 1.



déjà des méthodes, plus ou moins pratiques, comme l'était, par exemple, celle de M. Placet.

Dans les ateliers d'Asnières, sous la direction de M. Rousselon, la maison Goupil et Cie produisit de fort belles images typographiques, malheureusement d'un grain trop serré pour pouvoir être imprimées simultanément avec les caractères. C'est fâcheux, car rien de plus beau n'a été obtenu dans cette voie.

La Phototypogravure n'a cessé de se vulgariser depuis quelques années; les maisons Meisenbach, de Munich, Jos Albert de la même ville, ont produit des œuvres de ce genre qui ont été partout fort remarquées; la maison Boussod, Valadon et Cie (ancienne maison Goupil) a repris, sous l'habile direction de M. Manzi, l'exploitation de la Phototypographie et elle produit des œuvres vraiment remarquables.

En Amérique (États-Unis), de nombreux photograveurs excellent dans cette application, et les ouvrages qui nous viennent de cette partie du monde sont remplis de belles phototypogravures, obtenues d'après des sujets à demi-teintes.

Deux sortes de trames sont surtout employées, les grains et les lignes, et encore sont-ce les réseaux de lignes qui semblent mériter la préférence.

Voici un exemple de réseau ligné (*fig.* 2).

Il est un mot à dire encore, se rattachant à ce sujet de très près; il concerne le mode d'exécution des dessins en vue de leur reproduction pour la gravure typographique.

Ces dessins pourraient bien être reproduits à l'aide de trames, mais on peut éviter cette complication en les traitant de telle sorte que le négatif, directement obtenu à la chambre noire, serve à la formation, sur le métal à graver, de la réserve en bitume.

Il faut pour cela que les dessins soient exécutés de telle façon que tout le modelé y soit formé par des points, des lignes et des masses absolument noires.

Des papiers spéciaux grainés, lignés, quadrillés ont été créés pour les dessins destinés à être directement reproduits par la Photographie.

Généralement, ils sont recouverts de lignes ou de points formant un gris normal. Les tons supérieurs à ce gris sont obtenus à la plume ou au pinceau avec du noir pur, ou bien au

crayon dont la pointe ne peut atteindre les parties creuses du gaufrage.

Fig. 2.

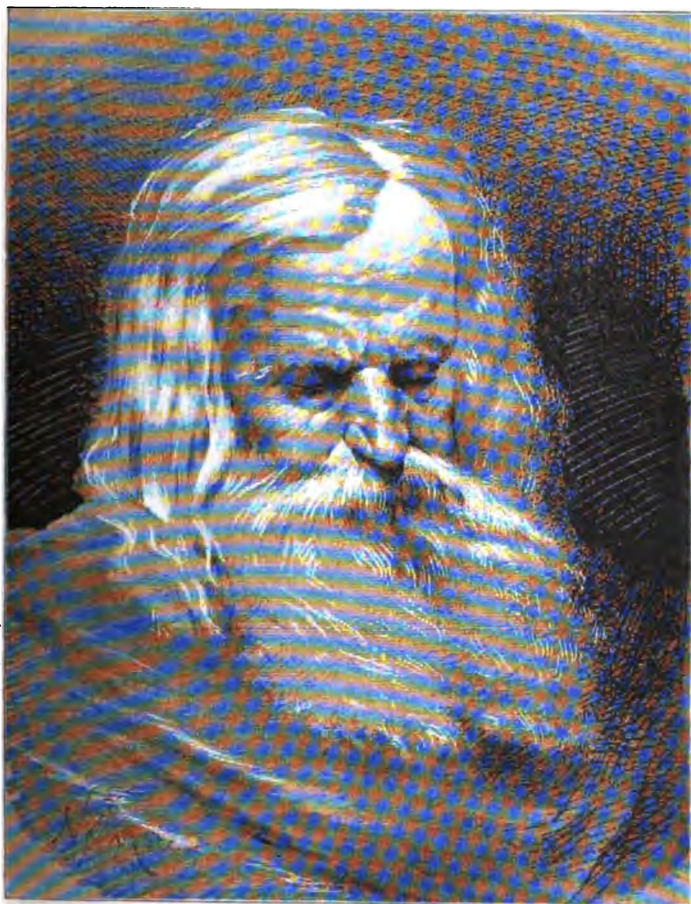


Cliché exécuté dans la maison Meisenbach, de Munich.

Les tons inférieurs à la teinte normale jusqu'au blanc pur s'obtiennent par voie de grattage.

On arrive à dessiner admirablement sur ces sortes de pa-

Fig. 3.



Dessin sur papier ligné et gaufré.

pier, ainsi que le prouvent les quelques exemples ci-joints (*fig.* 3 et 4).

On peut, pour aider à l'exécution du dessin, faire décalquer

une photocollographie sur du papier de ce genre et il ne reste

Fig. 4.



Dessin sur papier grainé.

plus alors qu'à accentuer les valeurs, ce qui n'est pas difficile, ainsi que le montrent les *fig.* 5 et 6.

L'enseignement de ces méthodes de dessin industriel devrait être compris dans les programmes des écoles de dessin, car

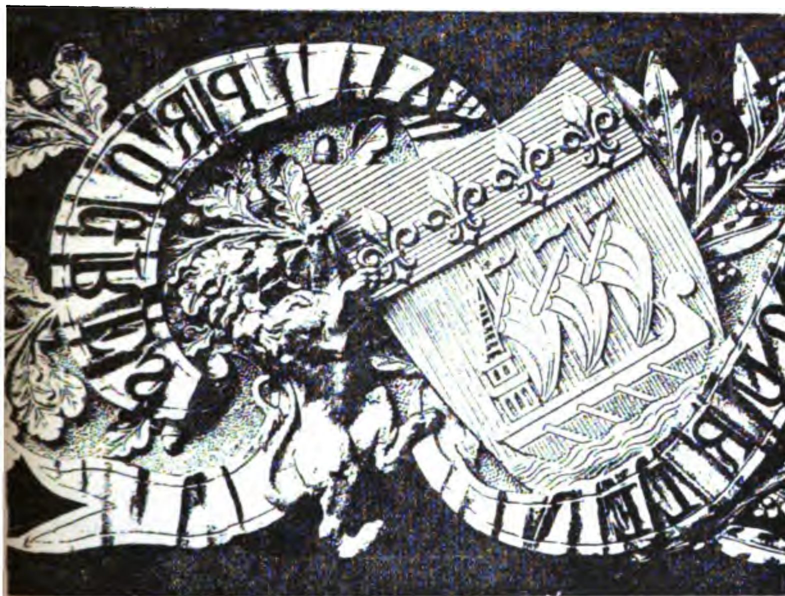


Fig. 5. — Décalque d'une photocollographie sur papier quadrillé blanc.



Fig. 6. — Même dessin terminé à l'aide du crayon et de la plume.

elles sont encore trop peu connues et leur emploi rend de très grands services.

II

La *Photogravure en creux* se décompose aussi en deux classes distinctes : celle des sujets au trait et celle des sujets à demi-teintes.

Dans le premier cas, on agit comme pour la Phototypogravure, sauf que le cliché destiné à former la réserve à la surface du métal doit être un positif au lieu d'un négatif. Une des maisons qui a excellé dans la reproduction en creux des vieilles gravures au trait est celle d'Amand-Durand.

Dans le deuxième cas, le moyen opératoire est plus compliqué. Nous n'en citerons que deux qui suffiront à donner une idée de toutes les applications de ce genre.

Dans la première méthode, on procède par moulage galvanoplastique d'un relief en gélatine obtenu photographiquement. C'est ainsi qu'ont été obtenues les belles photogravures publiées par la maison Goupil et Cie. Ce procédé a été publié, d'autre part, par M. Placet qui a produit de la sorte des œuvres remarquables.

C'est par un procédé analogue que MM. Lumière ont réalisé les superbes photogravures que l'on a admirées à l'Exposition universelle de 1889.

Le modelé est pour ainsi dire absolument continu, et la granulation qui existe à la surface de ces images n'est bien visible qu'à l'aide d'instruments suffisamment grossissants.

La deuxième méthode est plus rapide, on n'a plus à compter avec les lenteurs nécessaires de la galvanoplastie. Elle constitue une sorte d'aquatinte photographique.

La plaque métallique, recouverte d'abord d'un grain de résine, est enduite ensuite d'une couche de gélatine bichromatée ; on expose cette plaque à la lumière, sous un diapositif, puis on fait mordre au perchlorure de fer, à travers l'enduit lui-même devenu plus ou moins imperméable au mordant, suivant qu'il a été plus ou moins durci par l'action lumineuse.

Ce procédé, mis en pratique par M. Dujardin et par la maison Boussod-Valadon, produit de très beaux résultats.

III

Avant d'en finir avec les procédés de Photogravure, il reste à toucher sobrement à un point très délicat et au sujet duquel nous ne nous aventurerons pas à formuler ici une conclusion précise.

La gravure au burin se meurt, tuée par les procédés photographiques. Faut-il le regretter? Telle est la question qui doit nous arrêter un instant. Tout d'abord nous serons pour les regrets que peut inspirer la disparition d'un art véritable auquel on doit tant de chefs-d'œuvre. Quoi que l'on fasse et que l'on dise, on ne fera pas qu'il ne fallût être un grand artiste, doué d'un talent admirable, pour produire des planches gravées comme le sont celles d'Henriquel Dupont, par exemple, de Flameng, de Calamatta et de tant d'autres.

Avant l'existence de la Photographie, que ses progrès ont conduit à une exactitude dans la copie que rien ne saurait surpasser, on concevait les efforts tentés par d'habiles graveurs pour reproduire et vulgariser l'œuvre des maîtres. Leurs copies n'en étaient pas moins des interprétations plus ou moins fidèles et, dans toute copie d'un tableau par la gravure, il faut voir non seulement l'ensemble de la composition, des expressions dues à l'auteur de l'œuvre originale, mais encore la façon dont cet original a été traduit, interprété.

Le graveur y a forcément mis du sien, il peut avoir mieux fait même que le peintre. Il y a quelques jours, à propos d'Henriquel Dupont qui vient d'être enlevé à l'art, ne disait-on pas qu'il assouplissait l'œuvre de ses modèles? Or la différence qui existe entre la Photographie et la gravure à la main est celle-ci : l'une copie automatiquement, l'autre interprète.

La Photographie n'implique pas une œuvre personnelle; habilement dirigée, elle n'est que l'exact reflet du sujet copié. La gravure peut être une copie plus ou moins fidèle d'un Paul Delaroche, mais elle est un Henriquel Dupont, elle porte

l'empreinte d'un talent qui s'est substitué ou, pour mieux dire, ajouté à un autre.

Il est facile d'en avoir la preuve immédiate en soumettant à un examen comparé des reproductions photographiques de tableaux par la maison Braun et des gravures remarquables des mêmes sujets empruntées à la calcographie du Louvre.

Les différences entre les deux genres de copie sont aisément appréciables à première vue.

Aussi les artistes ont si bien compris les services que leur rendait le fidèle miroir de la Photographie, qu'il a fallu leur donner la satisfaction légitime de la création, au Louvre même, d'une calcographie photographique. A qui pouvait-on la confier mieux qu'à la maison Braun, qui a si remarquablement reproduit tous les musées d'Europe et dont les clichés admirables dépassent déjà le chiffre de 80000.

Nous étant réservé le droit de ne pas conclure, nous laissons ce soin à l'appréciation éclairée de nos lecteurs.

Il nous semble que, pour l'honneur de la gravure, on doit regretter sa disparition graduelle, tout en admettant qu'en fait d'art de copie, il ne saurait en exister de plus complet, de plus fidèle que la Photographie.

Entre les deux y aurait-il place pour un art d'interprétation? Nous ne saurions nous prononcer à cet égard, la question relevant de l'esthétique et échappant à notre compétence.

IV

Il va de soi que les procédés de Photogravure qui viennent d'être indiqués sont applicables à des impressions sóit monochromes, soit polychromes, tout comme les planches de gravure exécutées à la main, et nous avons à voir maintenant quels sont les meilleurs moyens, à nous fournis par la Photographie, pour exécuter, avec son concours, des œuvres polychromes.

Chacun sait que, jusqu'ici, en dépit des recherches les plus savantes, on n'a pu arriver à la reproduction directe, immédiate des couleurs. La belle expérience de M. Lippmann a prouvé que l'on peut, par la Photographie, donner une démonstration

des interférences : résultat vraiment admirable, il nous a montré les couleurs spectrales là même où l'image du spectre a été projetée sur une surface sensible. MM. Auguste et Louis Lumière viennent de répéter cette expérience avec le plus grand succès.

Cette découverte est-elle un premier pas vers la solution du grand problème, nous inclinons à le croire; faudra-t-il que des recherches soient tentées dans d'autres voies? C'est ce que nous ignorons encore.

Des faits analogues, appartenant au domaine de l'Acoustique, semblent donner l'espérance qu'on pourrait arriver à l'obtention, à l'aide des radiations pures, de sensations semblables à celles que nous font éprouver les couleurs composées pigmentaires. Bien qu'il reste beaucoup à faire encore, nous possédons au moins une base de recherches précise.

Le mieux est, en attendant l'accomplissement pratique de ce merveilleux desideratum, d'appliquer à la Chromophotographie les ressources que nous fournit l'arsenal déjà assez complet des procédés photographiques connus.

A ce propos, il est opportun de dire un mot des moyens à l'aide desquels on peut rendre les couches sensibles aptes à être impressionnées par toutes les couleurs. Ces moyens sont indispensables à la réalisation de la Chromophotographie indirecte.

On sait bien que la plaque sensible, dite ordinaire, est à peu près insensible aux radiations vertes, jaunes et rouges, et, n'était la lumière blanche réfléchie par les objets à reproduire, ces plaques ne nous donneraient que des reproductions fort incomplètes des sujets polychromes.

Grâce à de certains artifices, à l'addition de certaines substances colorantes aux produits sensibles, on arrive à modifier la nature de leur sensibilité.

On conçoit que le photographe puisse, à l'aide de ces diverses sortes de sensibilité, modifier ses plaques pour leur faire rendre plutôt telles couleurs que telles autres : de là la possibilité d'un triage, d'une véritable analyse photographique des couleurs. Il peut tout d'abord arriver à rendre les œuvres d'art et les sujets de la nature avec la valeur réelle des luminosités.

Déjà, à l'aide de ce rendu plus vrai, le chromotypographe et le chromolithographe peuvent traiter à part les couleurs et en faire un dessous appelé à être complété par l'œuvre purement photographique, ce qui, dans certains cas, conduit à l'obtention d'excellents résultats.

Mais il est une autre méthode permettant d'augmenter considérablement la part contributive de la Photographie dans la réalisation d'une reproduction polychrome.

Cette méthode a été indiquée dès 1868-1869 par MM. Louis Ducos du Hauron et Ch. Cros. Plusieurs autres chercheurs s'en sont occupés avec succès.

Nous l'avons personnellement étudiée avec soin, modifiée même, de façon à en faciliter l'emploi, et nous croyons qu'elle est de nature à rendre de très grands services aux arts mécaniques d'impression.

C'est à tort, toutefois, qu'on appelle ce mode de reproduction polychrome : *Héliochromie naturelle,* ce qui tendrait, inexactement, à faire croire que c'est là un procédé direct de reproduction des couleurs, alors qu'il est absolument indirect.

Il sera expliqué en deux mots. L'œuvre à demander à la Photographie est précisément ce triage des couleurs dont il vient d'être question. On part de ce principe que, pour la formation d'une image polychrome pigmentaire, il faut au moins trois couleurs, qui sont le jaune, le bleu et le rouge.

C'est là une notion d'un caractère purement artistique, car, au point de vue scientifique, il n'en est pas de même, et les couleurs primaires, quand il s'agit des radiations pures, sont le bleu-violet, le vert et le rouge-orange.

Les images polychromes qu'il s'agit d'obtenir sont des images formées par des pigments, et nous tomberions dans une erreur profonde si nous raisonnions à cet égard en adoptant pour base la théorie des combinaisons entre elles des diverses radiations du spectre.

La meilleure preuve à en donner est celle-ci : si nous projetons les radiations de deux couleurs complémentaires, jaunes et bleues, par exemple, de façon à les mélanger, elles donnent du blanc. Si nous mélangeons deux matières pigmentaires des mêmes couleurs, nous obtenons du vert. Si

nous faisons ce même mélange à l'aide des disques tournants de Maxwell, il y a production d'un gris voisin du blanc et nullement du vert ([1]).

Il faut donc bien distinguer entre ces deux sortes d'effets pour bien comprendre qu'en présence d'un sujet polychrome à reproduire avec des couleurs, il nous faut compter sur les pigments dont nous pourrons disposer et sur la difficulté d'obtenir un triage bien complet, étant données la nature des pigments ou des réflexions colorées qu'il faut reproduire et la somme de lumière blanche qui s'ajoute à tous les rayons colorés réfléchis.

Quoi qu'il en soit, on peut arriver quand même à trouver dans la Photographie un auxiliaire vraiment puissant, pour le travail de sélection dans les opérations de Photochromie composite dont il est ici question.

Cela est indiscutable, à la condition pourtant d'admettre une part de correction indispensable à cause de l'impossibilité absolue d'obtenir toujours de prime saut une sélection parfaite.

On doit considérer combien est grande déjà la part du travail accompli quand, grâce à la Photographie, les trois monochromes principaux ont été exécutés, et l'on conçoit combien il reste peu à faire pour que le résultat soit de tout point satisfaisant; quant au dessin, au modelé, ils seront certainement parfaits; les couleurs, de leur côté, représenteront un ensemble déjà très harmonieux et, à l'aide de tons convenablement choisis en s'inspirant de l'original, et de retouches sur les négatifs obtenues par voie d'atténuation, on arrivera à une

---

([1]) Théoriquement, la couleur n'existe pas en dehors de nous, et elle n'est qu'une simple sensation qui varie avec la longueur de l'onde à laquelle elle est due.

En dehors de nous, la lumière ne consiste qu'en ondes, les unes longues, les autres courtes, c'est-à-dire en simples mouvements mécaniques.

La théorie de Brewster reviendrait à dire qu'il n'y a dans le spectre que trois sortes d'ondes de trois longueurs différentes et nous savons qu'il n'en est pas ainsi.

Young a adopté une manière de voir différente : selon lui, chaque élément infiniment petit de la rétine peut recevoir et transmettre trois sensations différentes, ou bien nous pouvons dire que chaque élément de la surface rétinienne possède trois fibrilles nerveuses destinées à recevoir trois sensations.

supériorité dans l'œuvre de copie qui ne saurait être atteinte par aucun autre moyen.

Nous supplions Messieurs les industriels des arts graphiques de tenter des essais sérieux dans cette voie, et ils seront bientôt édifiés quant à l'efficacité de cette méthode.

On peut, au lieu de reproduire les objets à travers un écran, les plonger eux-mêmes dans un éclairage coloré, susceptible de modifier la nature des couleurs. Si, par exemple, nous projetons sur une image polychrome des rayons violets, le jaune apparaîtra rouge presque autant que le rouge lui-même, le bleu seul impressionnera la plaque ordinaire.

Si nous éclairons l'objet avec des rayons verts, le rouge se trouvera encore plus noirci, les jaunes et bleus impressionneront seuls la plaque, surtout rendue préalablement sensible aux rayons jaunes.

Enfin, si nous envoyons un faisceau de rayons colorés couleur orangé, le bleu sera absolument noirci et la plaque, surtout si elle est sensible aux radiations rouges et jaunes, n'aura à reproduire que du rouge et du jaune rendus à peu près de même valeur claire, par rapport au bleu.

Cette méthode appliquée industriellement, à l'aide de la lumière électrique, rendrait de très grands services, à cause de la possibilité d'agir toujours avec une somme de lumière connue. Elle se prêterait très bien à la reproduction polychrome de bien des œuvres d'art en supprimant, mieux encore que par d'autres moyens, la réflexion, par l'objet lui-même, des rayons de lumière blanche.

MM. L. Ducos du Hauron et Ch. Cros ont indiqué, en 1869, un moyen de projeter des images à l'état polychrome en se servant de diapositifs, au nombre de trois, obtenus par la voie d'une sélection analogue à celle qui vient d'être décrite.

On fait usage pour cela de trois lanternes, recevant chacune un des diapositifs, que l'on éclaire avec un écran coloré convenable. Les trois images sont projetées de façon à coïncider sur l'écran et, si les milieux colorés ont été bien choisis, il doit se produire de telles combinaisons dans l'ensemble des radiations colorées, qu'il en résulte une image polychrome semblable à l'original.

Dans ce cas, nous ne sommes plus en présence de pigments. nous avons à opérer le mélange de vraies radiations; aussi convient-il de choisir les milieux colorés les mieux appropriés à l'effet désiré. Si l'on opère sur trois diapositifs, il faudra un écran violet pour celui du jaune pigmentaire, un écran vert pour celui du rouge et un écran rouge orangé pour le troisième donnant le bleu pigmentaire.

Un appareil disposé *ad hoc*, avec des milieux colorés bien choisis, doit conduire à de charmants effets, ainsi que l'ont prouvé les exemples montrés à l'appui.

Pour obtenir avec les mêmes clichés la reconstitution des couleurs à l'état pigmentaire, il y aurait lieu de faire usage des couleurs jaune de chrome, bleu d'outremer et rouge carmin.

De tout ce qui précède, il résulte bien évidemment que la Photographie rend déjà et est susceptible de rendre encore de nombreux services à l'art du Livre. Ils seront de plus en plus grands à mesure que de nouveaux progrès seront réalisés.

On comprend donc le puissant intérêt qu'a le Cercle de la Librairie à solliciter pour sa part la création d'un enseignement photographique, à s'associer, après les avoir provoquées, avec la Société française de Photographie, à toutes les démarches et manifestations tentées dans ce but.

Il y a là une question d'intérêt industriel de premier ordre.

La France, qui est le berceau de la Photographie, ne doit pas se laisser dépasser par les autres nations dans la voie des applications de cet art merveilleux. Il y va des progrès encore plus considérables d'une industrie déjà puissante.

Grâce à un enseignement suffisamment théorique, et surtout pratique, la diffusion de ces méthodes sera prompte et efficace. Le public si nombreux qui afflue à toutes les conférences du Conservatoire fournit la preuve de l'intérêt qu'elles excitent et, par suite, de l'incontestable utilité de l'enseignement désiré.



DE L'EMPLOI

DU SYSTÈME COMPOUND

POUR LES MACHINES LOCOMOBILES ET DEMI-FIXES EN ANGLETERRE,

Par M. Gustave RICHARD,
Ingénieur civil des Mines.

INTRODUCTION.

Les avantages pratiques du système compound pour les machines à haute pression et sans condenseurs, en tête desquelles il faut ranger les locomotives, ne paraissent plus discutables. On a longtemps contesté ces avantages pour deux raisons principales : parce qu'on voulait absolument les établir théoriquement, alors que l'on ne dispose pas encore aujourd'hui des données scientifiques nécessaires, et parce que l'état de la construction ne permettait pas, dès l'origine, de marcher avec des pressions suffisamment élevées pour tirer de cette application du principe compound tout le bénéfice qu'on en espérait.

La théorie de la machine à vapeur ne pourra s'établir complètement qu'après celles de la conductibilité et du rayonnement des cylindres, et l'on sait que ces théories sont hérissées de difficultés en apparence insurmontables. La théorie d'après laquelle on établit, sans tenir compte de l'influence des parois, l'inutilité du système compound est inadmissible depuis que l'expérience a démontré la grandeur de cette influence; et, d'autre part, l'impossibilité de formuler cette influence empêche de déterminer *a priori* même le sens de son action, favorable ou défavorable au système compound. C'est ainsi que l'expé-

rience seule pouvait déterminer, par exemple, la pression à partir de laquelle le système compound deviendrait avantageux dans son application aux locomobiles et aux petites machines fixes sans condensation.

Ces machines n'ont été que rarement expérimentées en France d'une manière suivie et par des méthodes à peu près comparables, tandis qu'elles ont été, au contraire, de la part de la *Société Royale d'Agriculture d'Angleterre*, l'objet de concours fréquents et d'études expérimentales nombreuses, qui, sans être à l'abri de toute critique, n'en constituent pas moins un ensemble de documents très précieux, et ont largement contribué non seulement au progrès technique de ces machines, mais aussi au succès commercial des appareils anglais. Les récompenses décernées à la suite de ses concours par la Société Royale exercent en effet, dans le monde entier, une grande influence sur la masse des acheteurs; et cette influence est souvent très nuisible aux concurrents des maisons anglaises, dont les produits sont équivalents, mais qui n'ont, pour les présenter au public, aucun témoignage officiel. Je crois utile de signaler ce fait parce que nos constructeurs ne profitent pas assez des facilités qu'ils ont de faire essayer leurs machines par nos établissements technologiques, tels que le Conservatoire des Arts et Métiers, dont l'autorité n'est contestée par personne.

L'introduction de la locomobile compound en Angleterre remonte, à notre connaissance du moins, à 1862, époque où M. *Wenham* exposait à Islington une locomobile compound de 10 chevaux, à cylindres de 127^{mm} et 220^{mm} de diamètre sur 305^{mm} de course, avec une chaudière de $7^{mq},70$ de chauffe, pourvue, dans la boîte à fumée, d'un surchauffeur de $2^{mq},30$ de surface, où la vapeur passait en allant du petit au grand cylindre. L'année suivante, en 1863, MM. *Robey* présentaient une locomobile compound de M. *E. Allen* au concours de Smithfield. Aucune de ces machines n'attira l'attention du public : il fallut attendre jusqu'en 1879 l'exposition, au concours de la Société Royale, d'une demi-fixe compound, par M. *Fowler*, de Leeds. Cette machine, d'un type analogue à

celui que la Société Alsacienne exposait, en 1889, à Paris, avait des cylindres de 200^{mm} et 355^{mm} de diamètre sur 405^{mm} de course, avec distribution par tiroirs et coulisse, une chaudière locomotive de 26^{mq} de chauffe, une grille de $0^{m},74$. Elle dépensait, par cheval-heure effectif, $1^{kg},80$ de bon charbon, sous une pression de $5^{kg},90$, $1^{kg},45$ sous une pression de 7^{kg}, et $1^{kg},15$ sous une pression de 10^{kg} (88 chevaux), ce qui démontrait bien l'accroissement des avantages du système compound avec la pression. L'année suivante, en juillet 1880, MM. *Garrett* exposaient, au concours de Carlisle, une locomobile compound à cylindres de 196^{mm} et 300^{mm} de diamètre, et de 250^{mm} seulement de course, à tiroirs de Trick et sans enveloppes. Dans un essai de trois heures, et sous une pression de 7^{kg}, cette machine faisait $22^{chev},8$ et dépensait $1^{kg},45$ par cheval-heure effectif, à 180 tours.

A partir de cette date, l'élan était donné; presque tous les constructeurs adoptèrent très vite le système compound pour les locomobiles, les locomotives routières et surtout pour les machines demi-fixes. Il suffit de citer, parmi les plus connus, les types de *Clayton*, de *Marshall*, de *Robey*, de *Ransome*, de *Fowler*, de *Paxman*, de *Proctor*, dont on trouve la description dans les principaux journaux anglais, notamment dans l'*Engineer* et l'*Engineering*.

Le type de machine demi-fixe à chaudière locomotive montée sur un bâti portant les cylindres, l'arbre et le mécanisme s'est beaucoup développé en Angleterre dans ces dernières années, principalement pour l'éclairage électrique. M. *Fowler* en construit, à chaudières jumelées, qui vont jusqu'à 280 chevaux (1). Quelques constructeurs, M. *Marshall* notamment, n'hésitent pas à atteindre des pressions de 12 atmosphères avec la triple expansion (2). Enfin, il est avantageux, pour les machines puissantes, d'y ajouter, si le lieu de l'emploi le permet, un condenseur peu encombrant, comme dans les types de *Mac Laren* (3). Comme types français analogues, il suffit

(1) *Engineering*, 19 oct. 1888, p. 378.
(2) *Engineering*, 13 juillet 1888.
(3) *Revue Industrielle*, 2 mars 1889.

de rappeler les machines exposées en 1889 par la *Société Alsacienne* et par M. *Ch. Bourdon*.

Les constructeurs français ne sont pas restés, dans l'application du système compound aux machines locomobiles et demi-fixes, en arrière de leurs rivaux anglais, auxquels ils ont parfois montré le chemin qu'il fallait suivre ([1]); j'ai néanmoins pensé qu'il serait utile de publier avec quelques détails un compte rendu des dernières expériences exécutées sur des machines de ce genre et sur de petites machines fixes sans condensation par la *Société Royale*, à Newcastle et à Plymouth, tant à cause de l'intérêt qu'elles présentent par elles-mêmes que pour engager nos constructeurs à favoriser l'institution d'expériences analogues, qui ne sauraient que tourner à leur honneur et au profit de leur industrie.

ESSAIS DE NEWCASTLE (1887), ([2]).

Les essais institués par la Société Royale d'Agriculture à Newcastle en 1887 avaient principalement pour objet de préciser les progrès réalisés dans la construction et dans l'économie des machines locomobiles depuis le célèbre concours de Cardiff, en 1872. On pouvait espérer un progrès notable, car on avait, depuis cette époque, introduit dans ce genre de machines deux perfectionnements importants : l'emploi de pressions élevées, allant jusqu'à 17 atmosphères, et, comme une conséquence naturelle de ces hautes pressions, l'application du système compound. La Société Royale proposa, au concours de Newcastle, deux prix: un premier prix pour la meilleure locomobile compound et un second prix pour la meilleure locomobile simple, sans aucune restriction relative

---

([1]) Weyher et Richemond, *Exposition de* 1878. — Chaligny, *Annales industrielles*, 29 août et 5 septembre 1880.

([2]) *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 2e Série, t. XXIII, p. 667. Rapports de MM. Parsons, Yates, Pidgeon, Anderson et de Sir F. Bramwell. — *Engineering*, 15 juillet 1887. — *The Engineer*, 15 et 22 juillet, 5 août, 18 et 25 nov., 2 déc. 1887.

aux pressions, et avec faculté de présenter au concours des locomobiles routières. La puissance nominale ne devait pas dépasser huit chevaux. Cette proposition ne fut, malgré son vif intérêt, que très froidement accueillie par les principaux constructeurs de locomobiles, qui refusèrent de prendre part au concours sous le prétexte qu'ils n'avaient pas le temps de s'y préparer utilement. Les concurrents furent donc des nouveaux venus et en petit nombre : ce qui n'empêcha pas les essais de donner des résultats extrêmement remarquables.

Ces résultats ont, de plus, la bonne fortune d'être parfaitement comparables, car les trois concurrents les plus heureux, MM. *Davey-Paxman*, *Mac Laren* et *Foden* avaient exposé des machines simples et compound de construction semblable, et qui furent conduites, aux essais, par les mêmes mécaniciens. Ainsi que le montrent les chiffres généraux des Tableaux ci-contre, les résultats du concours furent, en ce qui concerne l'économie du combustible, tout à fait favorables à l'emploi du système compound.

	Dépense de charbon par cheval-heure effectif.		Économie du système compound.	
	Simple.	Compound.	par cheval-heure.	en tant pour 100.
	kg	kg	kg	
Davey-Paxman. .	1,180	0,840	0,340	29
Foden..........	1,260	0,880	0,380	30
Mac Laren......	1,220	0,990	0,230	18,8

L'emploi du système compound conduirait donc, toutes choses égales, comme nous le verrons plus bas par l'analyse détaillée des essais, à une économie de combustible d'environ 25 pour 100.

Quant aux poids et aux prix comparatifs des machines simples et compound, on voit, d'après les données du Tableau ci-après, que la différence par cheval effectif n'est pas considérable, et qu'elle peut même parfois se trouver en faveur de la compound, surtout avec les locomotives routières, pour lesquelles l'emploi de deux cylindres est, en outre, spécialement avantageux comme facilitant les démarrages et les changements de marche. On doit, en plus, remarquer que si le mécanisme

de la machine compound pèse, à puissance égale, plus que celui de la machine simple, son économie permet d'en réduire la chaudière de manière à réaliser sur ce point, très important pour les locomobiles, une compensation à peu près parfaite.

Locomobiles de 8 chevaux nominaux.	Poids en tonnes. Simple.	Compound.	Prix. Simple. fr.	Compound. fr.
Davey-Paxman	4,91	5,24	5050	7250
Foden (locomotive routière)	10,42	11,20	10000	11500
Mac Laren	5,04	5,46	4375	5000

Locomobiles de 8 chevaux nominaux.	Puissance effective aux essais. Simple. ch	Compound. ch	Prix par cheval effectif. Simple. fr.	Compound. fr.
Davey-Paxman	16,94	20,33	300	355
Foden (locomotive routière)	11,37	17,57	880	655
Mac Laren	16,98	21,07	260	240

Nous allons maintenant, avant d'aborder l'analyse détaillée des essais du concours de Newcastle, décrire sommairement les principales particularités de celles des machines qui s'y sont distinguées par des mérites à peu près équivalents. Ces machines étaient au nombre de sept, exposées par quatre constructeurs : MM. *Davey-Paxman*, *Cooper*, *Foden* et *Mac Laren*.

Davey-Paxman. — MM. *Davey-Paxman et Cie*, de Colchester, avaient envoyé au concours deux machines : une locomobile simple à un cylindre et une locomobile compound à deux cylindres, toutes deux, conformément au programme, d'une puissance nominale de huit chevaux.

Machine simple. — La chaudière, du type locomotive, et dont les principales particularités numériques sont indiquées au Tableau A (p. 240-241), est caractérisée par l'emploi de huit tubes de circulation Paxman, partant des côtés du foyer, près de la grille, et débouchant au ciel même du foyer. La chaudière, tout en acier, avait ses rivures percées, non poinçonnées, et rivées à la machine : elle était recouverte d'une enveloppe de feutre épais et de bois maintenue par une couverture en tôle. Le cylindre, placé dans l'axe, au-dessus de la boîte à feu, est complètement

enveloppé, parois et fonds, d'une chemise de vapeur purgeant dans la chaudière et constituée en forçant dans le cylindre un second cylindre intérieur en fonte très dure. Les paliers de l'arbre de couche reposent sur des supports en fonte reliés au cylindre d'un côté et simplement boulonnés à la chaudière du côté du volant. La distribution est pourvue d'un tiroir de détente à coulisse soumise au régulateur; ce tiroir de détente glisse sur une glace fixe, interposée entre lui et le tiroir principal, et à lumières doublées de manière à augmenter la sensibilité du réglage. La pompe alimentaire, placée verticalement sous l'arbre de couche, a son débit réglé par un robinet de refoulement dérivant l'excès d'eau dans une bâche qui reçoit aussi la purge du réchauffeur. Ce réchauffeur consiste en une chambre de $1^m,50$ de long, à cheval sous l'enveloppe de la chaudière et traversée par la vapeur d'échappement dans son trajet vers la cheminée. L'eau d'alimentation traverse, avant de pénétrer dans la chaudière, un tube de cuivre de 25^{mm} de diamètre, qui se replie huit fois sur la longueur du réchauffeur, puis un serpentin de même diamètre logé dans la boîte à fumée. Le graissage s'opérait au cylindre par un compte-gouttes Beck, et à la bielle par un graisseur à mèche automatique.

Machine compound. — La construction de cette locomobile diffère notablement de celle de la précédente. La chaudière, également du type locomotive, n'a pas de tubes Paxman. La machine est portée par un châssis de deux fers à double T longitudinaux, entrecroisés à l'arrière par les cylindres mêmes, à l'avant par une forte tôle transversale qui supporte les patins, et entre l'avant et l'arrière par deux pièces de fonte supportant l'une l'avant et l'autre l'arrière des glissières, ainsi que le régulateur et sa commande. Ce bâti est boulonné sur quatre corbeaux rivés à la chaudière, qui se trouve ainsi, comme dans les locomobiles françaises, libre de se dilater sans affecter le mécanisme et sans être gênée par lui. Les cylindres et leurs fonds sont complètement enveloppés d'une chemise de vapeur purgeant dans la chaudière. Le cylindre de basse pression n'a qu'un seul tiroir et le petit cylindre est pourvu d'un tiroir de détente réglé comme celui de la locomobile simple. Le réchauffeur est le même que celui de la locomobile

simple, mais sans serpentin dans la boîte à fumée. L'arbre de couche, à manivelles à 90° équilibrées par le volant, repose sur trois portées à paliers ajustables et très longs.

Mac Laren. — MM. *J. et H. Mac Laren* exposaient aussi deux locomobiles : une simple et une compound.

La chaudière de ces locomobiles, du type locomotive, ne présentait rien de bien particulier. Les paliers de l'arbre de couche étaient portés sur des supports en tôle reliés au cylindre par deux tirants et fixés à la chaudière par des cornières rivées. Le tiroir de détente est soumis à l'action d'un régulateur Wilson-Hartnell ([1]), très sensible et très énergique. Le réchauffeur d'alimentation est constitué par un tube de fer de $1^m,80$ de long, de 150^{mm} de diamètre. Ce tube débouche dans deux boîtes en fonte divisées par des cloisons radiales en compartiments communiquant entre eux, au travers du tube en fer, par six tubes en cuivre de 32^{mm} de diamètre, que l'eau traverse successivement comme un serpentin continu entouré par la vapeur d'échappement. Ces tubes sont disposés en hélice pour en faciliter la dilatation. Une partie seulement de la vapeur d'échappement pénètre dans le réchauffeur, au travers d'ouvertures percées dans le tuyau d'échappement qui le traverse par des garnitures étanches de stuffing-box, ne contrariant pas les dilatations.

Machine compound. — Cette machine ne différait de la locomotive simple que par les cylindres et leur attirail. Le petit cylindre seul avait un tiroir de détente à régulateur Hartnell.

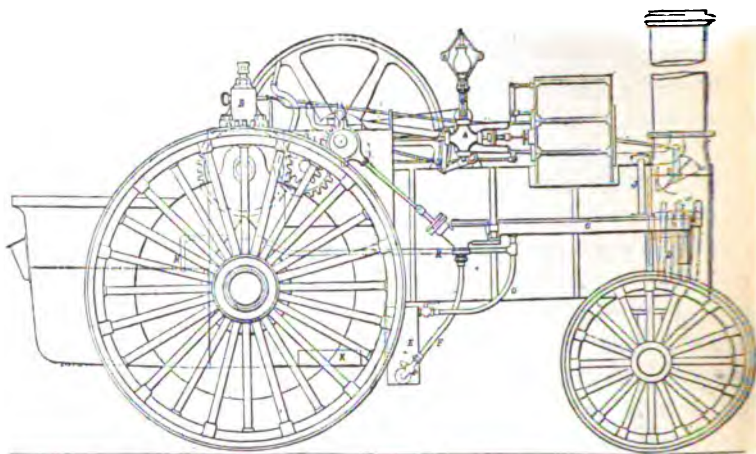
Foden. — MM. *Foden et Cie*, de Sandbach, exposaient deux locomobiles routières (*Traction Engines*), l'une simple et l'autre compound, ne différant que par l'attirail des cylindres.

La chaudière, du type locomotive, ne présentait rien de bien particulier. L'alimentation se règle par l'aspiration, dont le tuyau F (*fig.* 1 et 2), pourvu d'un robinet de réglage, aspire dans une petite bâche E l'eau que la pompe H refoule dans le réchauffeur C, qui reçoit une partie de l'échappement par le

---

(1) Haton de la Goupillière, *Cours de Machines*, t. III, p. 484.

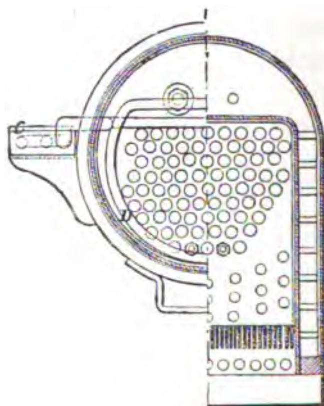
Fig. 1.



Locomotive routière Foden. — Élévation.

tuyau J, puis dans le serpentin D, de 13^{m} de long et de 25^{mm}

Fig. 2.

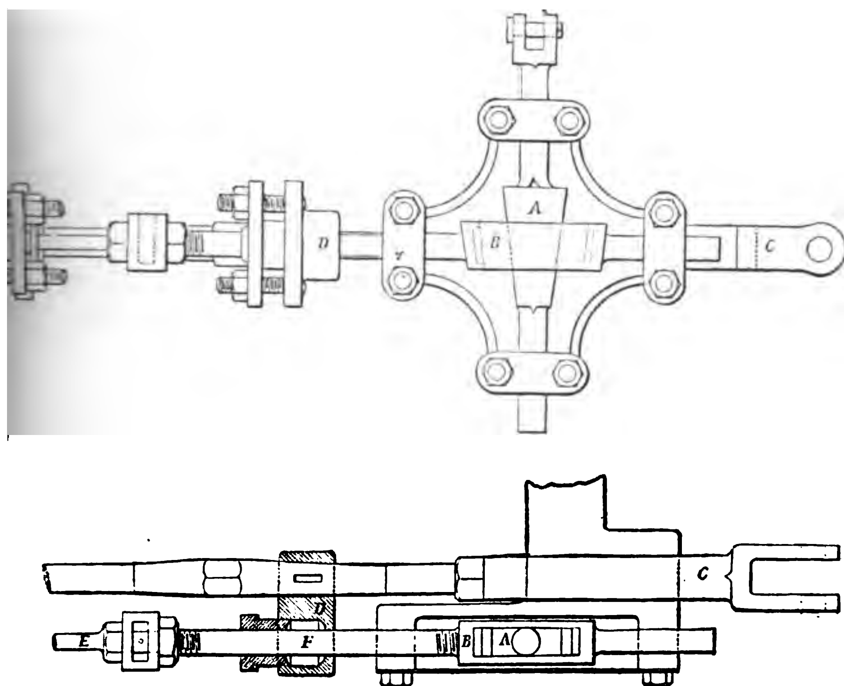


Locomotive routière Foden. — Coupe transversale de la chaudière par le foyer et le corps cylindrique.

de diamètre, logé dans la boîte à fumée. Le tirage est réglé par un papillon I, dans la cheminée.

Les deux cylindres parfaitement enveloppés, fonds et parois, ont chacun leur distribution à coulisses indépendantes, que l'on accouple sur un même levier de changement de marche quand on fonctionne en locomotive. Le cylindre de

Fig. 3 et 4.

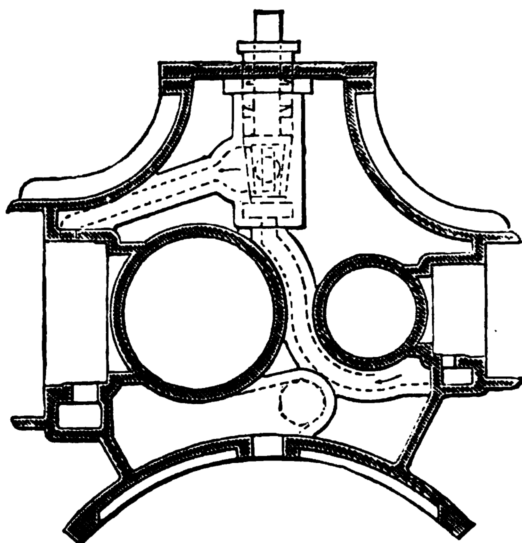


Locomotive routière Foden. — Détail de la détente variable.
Élévation et plan-coupe.

haute pression est, en plus, pourvu d'un tiroir de détente Farcot dont la tige C est munie (*fig.* 3 et 4) d'un cadre B, dans lequel monte et descend le coin A, relié au régulateur. Plus ce coin s'abaisse, plus vite il arrête l'entraînement du tiroir de détente par le tiroir principal, et plus il réduit l'admission. Le second stuffing-box F, entraîné par la tige C du tiroir principal, a pour objet de compenser par son serrage réglable à volonté le frottement du stuffing-box de la tige E à l'entrée

de la boîte à tiroirs, qui pourrait, sans cela, arrêter cette tige avant la butée de son cadre sur le coin A. L'emploi du tiroir de détente Farcot présente l'avantage de ne gêner en rien le fonctionnement du changement de marche indispensable aux locomobiles routières. Enfin, un robinet d'intercommunication, indiqué sur la *fig*. 5, permet, pour un coup de collier, d'ad-

Fig. 5.



Locomotive routière Foden. — Coupe transversale des cylindres.

mettre la vapeur directement de la chaudière aux deux cylindres.

Cooper. — M. *Cooper*, de Ryburgh, n'exposait qu'une locomobile routière, construite sur ses plans par Garrett.

Cette machine, dont la locomotion n'était que l'accessoire, est remarquable par sa simplicité et sa légèreté : malgré son attirail de traction, elle ne pèse que 5 tonnes et passe dans une largeur de 1^{m},80.

La chaudière est du type locomotive, avec réchauffeur

d'alimentation constitué par la dérivation d'une partie de l'échappement dans un serpentin à la surface de l'eau de la bâche. Le renversement de la marche s'opère au moyen d'excentriques à calage variable. Les cylindres, sans chemises de vapeur, mais soigneusement enveloppés, sont placés à l'avant de la chaudière. Le régulateur agissait sur un papillon étranglant plus ou moins la prise de vapeur. Les résultats des essais de cette machine sont spécialement intéressants en ce qu'ils peuvent se comparer à ceux des compound précédentes, à chemises de vapeur et à tiroir de détente.

RÉSULTATS DES ESSAIS.

Nous allons maintenant examiner quelques-uns des principaux résultats des essais de ces locomobiles, consignés aux Tableaux annexés (p. 240 à 245).

Il a fallu, tout d'abord, calculer *la vapeur condensée dans les enveloppes,* car on ne pouvait pas recueillir séparément cette eau, qui se déversait directement dans les chaudières. La méthode forcément approximative adoptée pour ce calcul consiste essentiellement à admettre qu'il se condense dans l'enveloppe une quantité de vapeur équivalente au travail indiqué, de sorte que, si l'on désigne par

i, la force en chevaux indiquée;
t, la durée de l'essai en minutes;
λ, la chaleur latente de la vapeur à la pression de la chaudière et de l'enveloppe,

le poids p de la vapeur condensée dans l'enveloppe pendant l'essai est donné par la formule

$$p^{kg} = \frac{75 \times 60 \times t \times i}{425\,\lambda} = 10,58\,\frac{ti}{\lambda}.$$

Dans tous ces essais, on a toujours ramené la vaporisation à 100°, c'est-à-dire exprimé la vaporisation de la chaudière en fonction de celle qu'elle aurait produite en vapeur à 100°, pour

laquelle $\lambda = 536,5$, d'où

$$p = 0,0197\, ti = \text{pratiquement } 0,02\, ti.$$

Cette formule très simple

$$p = 0,02\, ti,$$

purement empirique, donne, d'après M. Anderson, des résultats suffisamment exacts, et, en tous cas, parfaitement comparables.

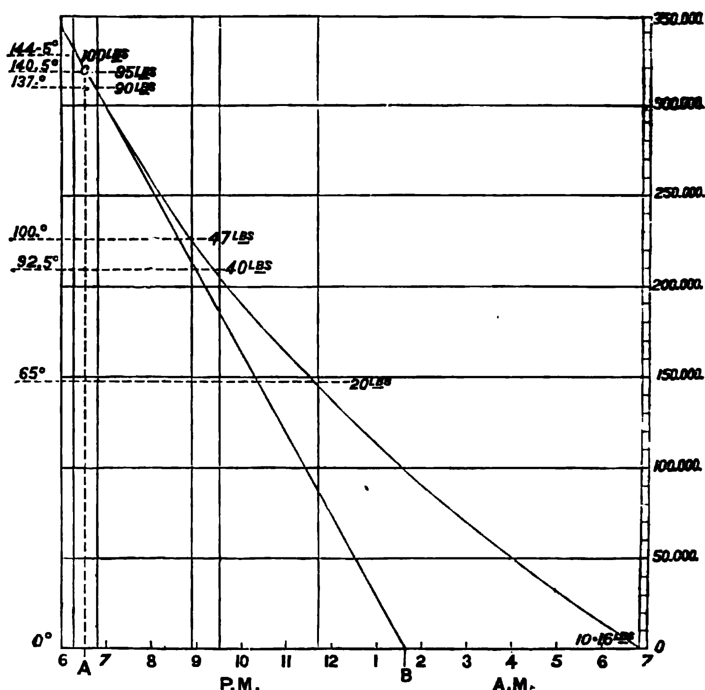
Quoi qu'il en soit, c'est ainsi que l'on a tenu compte de la condensation des enveloppes dans l'évaluation de la vaporisation pour toutes les chaudières essayées, dont quelques-unes, celle de la locomotive simple Foden, par exemple, et celle de la compound Paxman, auraient vaporisé la quantité considérable de 13^{kg} d'eau par kilogramme de charbon. La surface de chauffe de la chaudière Foden était, il est vrai, considérable : de 80 fois environ la surface de grille, réduite pour l'essai, et la combustion modérée d'environ 59^{kg} par mètre carré de cette grille réduite, ainsi que la vaporisation par mètre carré de chauffe et par heure ($8^{kg},60$) ou, par cheval-heure effectif ($16^{kg},30$); la combustion était en outre parfaitement réglée avec un excès d'air de 9 pour 100 seulement. En somme, la chaudière était peut-être trop forte pour la machine. La chaudière de la compound Paxman, de même vaporisation par kilogramme de charbon que la précédente, en diffère par plusieurs de ses proportions. La surface de grille réduite aux essais y était beaucoup plus grande : $0^{mq},401$ au lieu de $0^{mq},245$, mais la même par cheval-heure indiqué : $0^{mq},175$. La surface de chauffe totale par cheval-heure indiqué était, au contraire, beaucoup plus faible : $0^{mq},92$ au lieu de $1^{mq},41$, ainsi que la vaporisation par cheval effectif : $10^{kg},90$ au lieu de $16^{kg},30$; tandis que la vaporisation par mètre carré de chauffe et par heure y était plus élevée : $9^{kg},25$ au lieu de $8^{kg},60$. Enfin, le feu y était réglé tout différemment, avec près de deux fois plus d'air que pour la locomobile Foden, et une température plus élevée dans la boîte à fumée. L'utilisation du combustible y fut pourtant la même : résultat en apparence paradoxal, et qui semble indiquer que la chaudière Paxman, moins poussée, avec un tirage moins actif ou des tubes plus longs, aurait peut-

être augmenté encore sa vaporisation par kilogramme de charbon. Il faut d'ailleurs ajouter que le rapport de la grille à la section des tubes, ou au *calorimètre*, comme disent les Anglais, était beaucoup plus élevé dans la chaudière Paxman : 4,55 au lieu de 2,83. Dans la chaudière compound de Mac Laren, ce rapport s'élève à 5,42 aux essais avec grille réduite, la vaporisation par mètre carré de chauffe et par heure, à 11^{kg},50, la température de la boîte à fumée à 238°, et l'excès d'air à 140 pour 100, sans modification pratiquement sensible de la vaporisation par kilogramme de houille ou du rendement de la chaudière : 0,814 au lieu de 0,840. Peut-être cela tient-il à ce que la température du foyer, que l'on n'a pas pu mesurer, était plus élevée dans la chaudière Mac Laren ?

On a essayé, pour la première fois, croyons-nous, au concours de Newcastle, d'évaluer la *perte de chaleur* des locomobiles *par leur rayonnement*. La méthode employée était la suivante : La chaudière étant pleine d'eau à la pression et au niveau normal, on déduisait, des poids d'eau et de vapeur qu'elle renfermait ainsi que du poids de la chaudière et des cylindres à la même température qu'elle, la capacité calorifique totale de la locomobile en pression normale, sans feu sur la grille, puis, après avoir soigneusement fermé le foyer, on laissait la chaudière se refroidir, en notant à des intervalles égaux ses abaissements de température. La *fig.* 6 donne la courbe représentative du refroidissement de la locomobile simple Paxman, tracée en portant en abscisses les heures d'observation et en ordonnées les températures correspondantes. Le refroidissement se ralentit d'autant plus que la température baisse, en suivant à peu près la loi de Newton. Si l'on mène au point *c*, correspondant à la température normale de la chaudière sous la pression de régime de 6^{kg},65, une tangente à la courbe, la distance OB donne le temps que la locomobile, supposée maintenue à cette pression, aurait mis à perdre par rayonnement la même quantité de chaleur que pendant toute la durée de son refroidissement graduel. C'est ainsi que l'on a évalué les pertes par rayonnement reportées au Tableau. La méthode n'est, on le voit, que grossièrement approximative ; il y avait

toujours un certain appel d'air malgré la fermeture du cendrier, tandis que, en marche, l'intérieur du foyer et les tubes ne perdent aucune chaleur par rayonnement, mais en reçoivent, au contraire, des gaz qui les traversent. Les résultats ainsi ob-

Fig. 6 (¹).



Courbes du refroidissement de la locomobile simple Paxman.

On a porté, sur ce diagramme, en abscisses les heures comptées à partir du commencement de l'essai, et en ordonnées, à droite, les pertes de chaleur correspondantes en calories anglaises, équivalentes chacune à 0,25 calorie française; les chiffres de gauche indiquent les températures de la vapeur en degrés Fahrenheit, et ceux de la courbe, les pressions correspondantes en livres par pouce carré (1 livre par pouce carré = 0kg,07 par centimètre carré).

tenus doivent donc être considérés comme plutôt trop forts. On se rendrait mieux compte de la puissance du rayonnement

(¹) Le cliché de cette figure et ceux des *fig.* 22, 23 et 24 ci-après nous ont été gracieusement prêtés par la *Société Royale d'Agriculture de Londres*.

en le rapportant au mètre carré de surface rayonnante, renseignement qui manque malheureusement dans les comptes rendus des essais. Faute de données officielles, prenons, pour la machine simple Foden, par exemple, le chiffre plutôt trop fort de 9^{mq} de surface rayonnante; il en résulte que cette locomobile aurait perdu environ 2000 calories par mètre carré et par heure, et, puisque sa température était de 175° et la température extérieure de 20°, environ 13 calories par mètre carré de surface rayonnante, par heure et par degré d'excès de température, ce qui est un chiffre apparemment très élevé. Rapportée au charbon brûlé ou à la chaleur fournie, la perte par rayonnement ainsi calculée a oscillé entre les limites très écartées de 0,054 à 0,165, maximum atteint par la compound Foden et qui s'explique principalement par sa très haute pression : $17^{kg},5$. Avec cette dernière machine, la perte par rayonnement: 21000 calories par heure, équivaudrait à un travail de

$$\frac{21\,000 \times 425}{75 \times 60 \times 60} = \frac{8\,925\,000}{270\,000} = 33 \text{ chevaux environ,}$$

c'est-à-dire à plus de deux fois son travail effectif. La question des pertes par rayonnement est donc des plus sérieuses et mériterait d'être reprise, étudiée plus à fond, du moins pour les locomobiles; car, si les résultats de Newcastle se confirmaient sur ce point, les méthodes d'isolement actuellement employées sur ces machines devraient être considérées comme tout à fait insuffisantes, du moins pour les hautes pressions.

Les rapports officiels du concours de Newcastle ne disent presque rien des diagrammes dont les principaux sont représentés par les *fig.* 7 à 21. Ces diagrammes paraissent avoir été pris presque toujours avec des ressorts d'indicateurs trop faibles, exagérant le lancé du piston et masquant l'origine véritable de la détente. On remarquera, dans le diagramme du petit cylindre de la compound Paxman (*fig.* 20), la forme particulière de la courbe de contre-pression ou d'échappement au grand cylindre : la contre-pression s'y élève jusqu'au milieu de la course, pour retomber ensuite; cette allure, due en partie à la petitesse du réservoir intermédiaire, est considérée, en général,

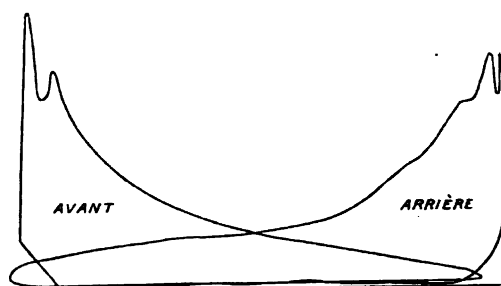


Fig. 7. — Locomotive routière Foden simple.



Fig. 8. — Locomobile verticale simple Jeffery et Blackstone.

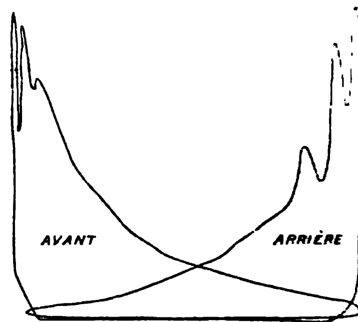
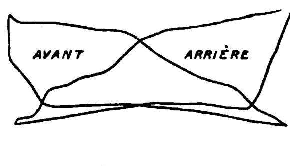
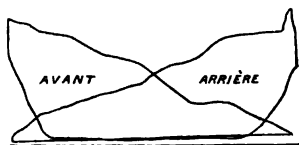


Fig. 9. — Locomobile simple Mac Laren.



Petit cylindre.



Grand cylindre.

Fig. 12 et 13. — Locomotive routière Cooper compound.

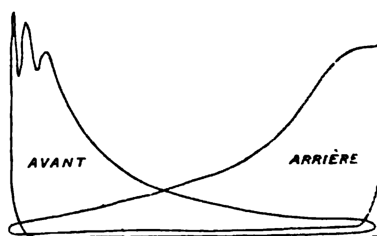


Fig. 10. — Locomobile simple Paxman.

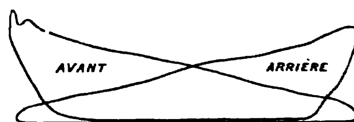
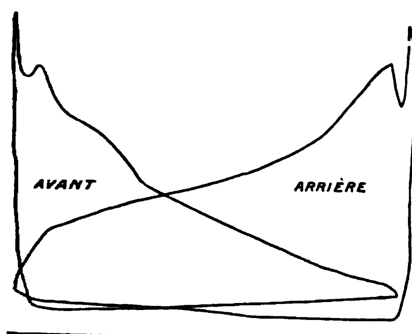
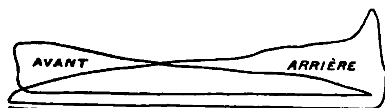


Fig. 11. — Locomobile simple Humphries.

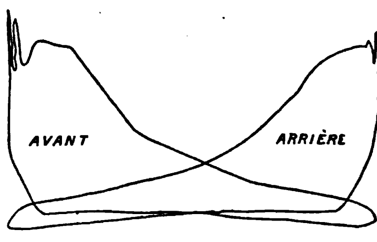


Petit cylindre.



Grand cylindre.

Fig. 14 et 15. — Locomotive routière Foden compound.

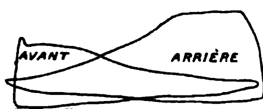


Petit cylindre.



Grand cylindre.

Fig. 16 et 17. — Locomobile compound Mac Laren.

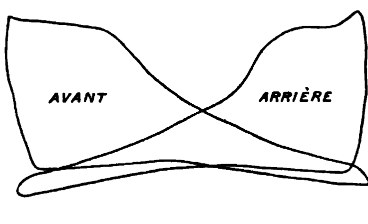


Petit cylindre.

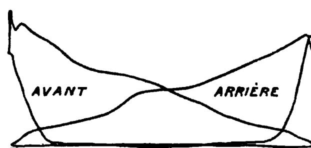


Grand cylindre.

Fig. 18 et 19. — Locomobile compound Humphries.



Petit cylindre.



Grand cylindre.

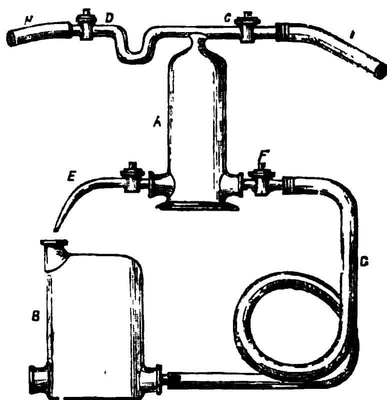
Fig. 20 et 21. — Locomobile compound Paxman.

comme favorable. La contre-pression du grand cylindre de la compound Foden, trop élevée ($0^{kg},40$ effectifs), occasionnait un travail résistant inutile de près de deux chevaux.

Nous terminerons cet exposé des essais de Newcastle par la description de l'appareil employé par M. *Stead* pour recueillir et analyser les gaz de la boîte à fumée.

L'appareil à recueillir les gaz se compose (*fig.* 22) d'une éprouvette à mercure A, de 180^{mm} de hauteur sur 45^{mm} de dia-

Fig. 22.

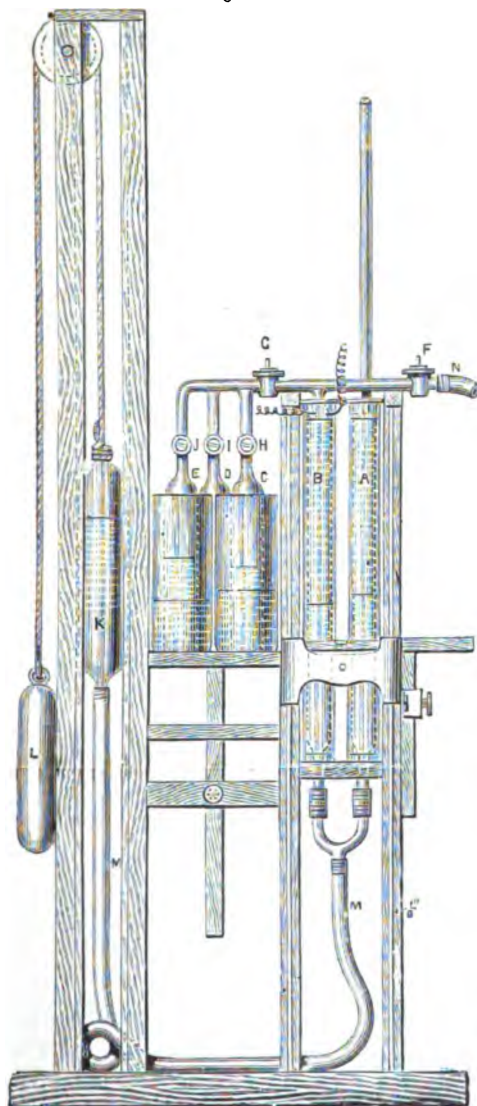


Appareil Stead à recueillir les gaz.

mètre reliée, par le tube H avec robinet D, à la boite à fumée, juste au-dessus des tubes, un peu au-dessous de la tuyère, et, par le tuyau G à robinet F, au bas du récipient en verre B, où le mercure de A peut s'écouler par la pipette E. L'éprouvette A étant pleine de mercure et B vide, on ouvre D et C, et l'on aspire d'abord, par I, assez de gaz de la boîte à fumée pour chasser tout l'air. On ferme alors le robinet C, on ouvre E, puis on aspire les gaz en A, en laissant le mercure s'écouler par E à la vitesse que l'on veut. Pour remplir de nouveau A de mercure en expulsant ses gaz, il suffit de fermer D et E, d'ouvrir C et F et de soulever B.

L'appareil analyseur est représenté par la *fig.* 23. Son fonctionnement est le suivant. On soulève d'abord la bouteille

Fig. 23.



Analyseur Stead pour les gaz de la combustion.

à mercure K, de manière à remplir le tube B complètement,

puis on ferme G et l'on ouvre F, de manière que le gaz arrive par N en B, et l'on ferme F. On déplace ensuite l'éprouvette K jusqu'à ce que le mercure prenne le même niveau dans le tube B, et dans le tube A, ouvert à l'atmosphère. On lit alors le volume du gaz que renferme A, à la pression atmosphérique et à la température constante maintenue par une circulation d'eau autour de A et de B. On ouvre ensuite les robinets G et H, et l'on soulève K de manière à faire absorber l'acide carbonique par la potasse caustique de l'éprouvette C; puis, après une minute environ, on laisse le gaz revenir en B, où l'on mesure son nouveau volume comme précédemment. On répète l'opération pour s'assurer que tout l'acide carbonique a bien été absorbé. L'éprouvette D renferme de l'eau : on en décompose un peu par une étincelle électrique, et l'on fait rendre les gaz résultants dans B, où on les recombine par une étincelle : on brûle ainsi tout l'oxyde de carbone qui se trouve en B. Cet oxyde brûle dans l'oxygène libre des gaz de la combustion, et on le dose par l'absorption, en C, de l'acide carbonique ainsi formé. Il ne reste plus alors qu'à faire passer en B un volume déterminé de l'hydrogène de E et à l'y enflammer de manière à brûler ce qu'il y reste d'oxygène libre. On détermine l'azote, l'oxygène, et par conséquent l'air du volume restant en B.

Chaque analyse exige environ un quart d'heure.

CONCOURS DE PLYMOUTH (1890), (1).

Description des machines. — Les essais du concours de Plymouth ont porté sur trois machines verticales : une compound et deux simples, dont les principales dimensions sont indiquées aux Tableaux H et K (p. 246-247).

Simpson, Strickland et Cie. — La machine de MM. *Simpson, Strickland et Cie* était une compound très rustique à cylindres en tandem, avec un seul tiroir pour toute la distribution, sans

(1) *Journal of the Royal Agricultural Society*, 3e série, t. I, p. 580. Rapport de MM. Unwin et Pidgeon.

chemise de vapeur, avec une enveloppe de laine de laitier. La garniture de la tige de piston entre les cylindres n'a pas de stuffing-box, elle n'est constituée que par des gorges creusées dans la tige. La machine n'avait pas de régulateur. Pendant l'essai, on la réglait à la main : procédé barbare, évidemment inadmissible en pratique. La chaudière verticale renfermait, un peu à l'étroit, 155 tubes en laiton de $0^{m},70$ de long et de 25^{mm} de diamètre extérieur, traversant le dôme de vapeur avec une surface de surchauffe relativement considérable. Cette surchauffe, ou plutôt ce séchage de la vapeur, a, d'après MM. Unwin et Pidgeon, largement contribué à l'économie de cette machine. L'alimentation s'opère en temps ordinaire par un injecteur; pendant les essais, on se servit d'une pompe à main permettant de jauger la dépense d'eau.

Turner. — La machine verticale simple, du type renversé, exposée par MM. *Turner*, avait son bâti fixé à la chaudière par une tôle flexible; la distribution était faite par un tiroir à dos percé de Trick dont l'excentrique était soumis à un modérateur Hartnell excessivement sensible, mais imparfaitement réglé, donnant un échappement anticipé trop prononcé. Le cylindre, soigneusement enveloppé de feutre ainsi que les tuyaux de vapeur, n'avait pas de chemise de vapeur. L'alimentation s'opérait au moyen d'une pompe à soupape de refoulement de levée variable permettant de retourner une partie de l'eau dans une bâche par un ajutage autour duquel circulait une partie de la vapeur d'échappement. Ce mode de réchauffage de l'eau d'alimentation s'est montré très efficace pendant les essais.

La chaudière verticale avait un foyer très haut, communiquant avec la boîte à fumée par 36 tubes horizontaux de 37^{mm} de diamètre. Cette chaudière trop petite donnait de la vapeur humide; elle était plus soigneusement enveloppée que celles des autres machines.

Adams et Cie. — La machine de MM. *Adams et Cie* était pourvue d'un régulateur agissant par étranglement de la vapeur; ce régulateur ne put pas fonctionner pendant les essais

à cause de la position de l'indicateur qui obligea de l'immobiliser. La chaudière verticale était à foyer intérieur, avec deux tubes d'eau transversaux de 160mm de diamètre et de 0m,75 de long. La surface de chauffe était relativement faible : la chaudière n'avait pas d'enveloppe et la température des gaz dans la cheminée était beaucoup trop élevée. La cheminée traversait la vapeur qu'elle ne pouvait chauffer que très peu.

Dans tous ces essais, on employa comme dynamomètre un frein à corde avec poids et ressort et des indicateurs Crosby. La houille, de Powell-Duffryn, renfermait 85 pour 100 de carbone; sa puissance de vaporisation calculée était de 15kg,12.

Une fois la machine en train, en charge et à vitesse normale, on réglait le feu de manière à maintenir une pression à peu près constante; puis, à la fin de l'essai, on ramenait le feu à son état initial ainsi que le niveau de l'eau.

Comme on le voit par les chiffres des Tableaux H et K, la chaudière de M. Strickland utilisait près des 0,7 de la chaleur totale du combustible tandis que celle de M. Adams n'en utilisait que la moitié; ce qui tient en grande partie à ce que cette chaudière était beaucoup plus forcée que l'autre, mais pas uniquement à cette cause, car la chaudière Turner, encore plus surmenée, avait un meilleur rendement; la surface de chauffe était mieux disposée dans la chaudière Turner, qui était aussi mieux enveloppée. Les rapporteurs font justement remarquer l'absurdité de ne pas envelopper soigneusement les chaudières locomobiles de manière à les rendre plus économiques et plus puissantes à poids égal. La supériorité de la chaudière Simpson est due principalement à l'étendue de sa surface de chauffe bien plus grande, à poids égal, avec le système tubulaire qu'avec le système tubulé ou à tubes d'eau, qui n'a guère d'autre avantage que de se prêter un peu mieux à l'emploi d'eaux très sales; mais il faut toujours éviter ces eaux absolument nuisibles si elles ne sont pas immédiatement dangereuses.

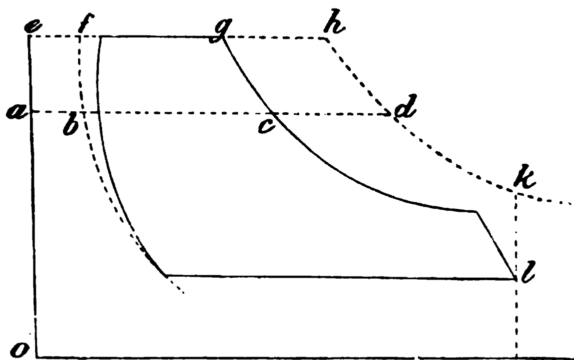
En ce qui concerne les mécanismes, ces essais ont encore une fois démontré la supériorité du système compound. La machine compound, marchant à une pression initiale plus

élevée et à plus grande détente, a dépensé, par cheval effectif, moitié moins que les machines simples en eau et en charbon, et fourni, à poids égal de chaudière et de machine, trois fois plus de travail. Son rendement organique fut aussi plus élevé; mais elle n'avait ni régulateur, ni pompe d'alimentation, de sorte que l'on ne sait pas exactement de combien. Il faut en outre remarquer que la chaudière de Turner crachait beaucoup en raison de son surmenage exagéré, de sorte que l'économie de la machine Strickland ne doit pas être attribuée entièrement au système compound.

L'analyse des diagrammes fournit d'ailleurs à ce sujet des résultats plus complets.

On sait que si l'on trace, à côté du diagramme réel *gcl*

Fig. 24.



(*fig.* 24) des poids de vapeur présents au cylindre, les courbes de compression *fb* et de détente *hk* de la vapeur saturée, les longueurs *ab*, *ef* représentant les poids de la vapeur saturée présente au cylindre aux points *b* et *f* de la compression, et *fh* celui de la vapeur saturée présente à l'admission, les différences *gh*, *cd* représenteront à très peu près les poids de vapeur condensés sur les parois du cylindre aux points *g* et *c* du diagramme réel. Si, de *fg* en *l*, la courbe du diagramme réel se rapproche de la courbe de saturation *hk*, cela indique qu'il se produit pendant la détente une reévaporation de l'eau

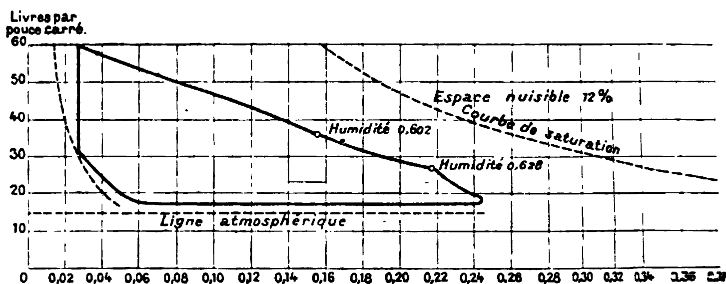


Fig. 25. — Machine Adams.

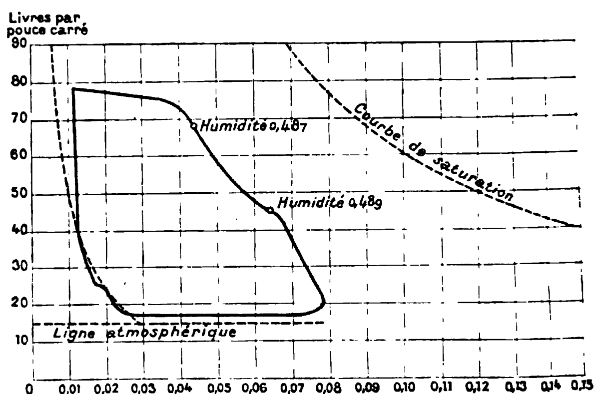


Fig. 26. — Machine Turner.

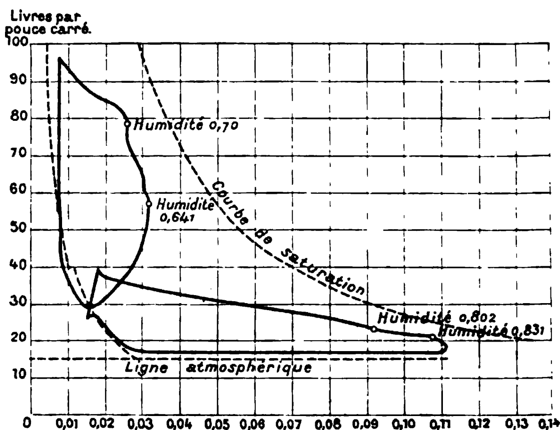


Fig. 27. — Machine compound Simpson-Strickland.

Nota. — Les abscisses représentent les volumes des cylindrées en pieds cubes (1 pied cube = 28lit,30), et les ordonnées, les pressions en livres par pouce carré (1 livre par pouce carré = 0kg,07 par centimètre carré).

précipitée pendant l'admission. On peut prendre, pour indiquer le degré d'humidité de la vapeur, le rapport $\frac{ac}{ad}$ du poids réel de vapeur présent au cylindre au poids théorique de vapeur saturée à la même pression.

Le diagramme de la machine Adams (*fig.* 25) indique un étranglement considérable de la vapeur à l'admission. Au commencement de la détente géométrique, l'humidité de la vapeur, évaluée comme précédemment, était de 0,602, c'est-à-dire que les 0,4 de la vapeur se condensaient à l'admission, puis la vapeur se séchait un peu pendant la détente, mais très peu, passant de 0,602 à 0,628.

Le diagramme de la machine Turner (*fig.* 26) paraît, au contraire, absolument mauvais; la condensation dans le cylindre y est énorme : de plus de 50 pour 100 à l'admission ; la détente réelle n'y est que de 1,2, au lieu de 1,6 dans la machine Adams, de sorte que la condensation persiste pendant toute la course. L'irrégularité constatée avec cette machine sur toutes les courbes de compression paraît due à une reévaporation pendant le passage de la vapeur dans le canal du dos du tiroir. La grande humidité du cylindre provient surtout de ce que la chaudière était, comme nous l'avons dit, très surmenée; la machine aurait sans doute beaucoup mieux fonctionné avec une charge moindre.

Les *avantages thermiques de la marche en compound* apparaissent très clairement sur les diagrammes de la machine Simpson-Strickland (*fig.* 27). Au petit cylindre, la condensation de la vapeur, qui était de 30 pour 100 à l'admission, atteignait 35 pour 100 à la fin de la détente : le fonctionnement thermique de ce petit cylindre était donc déjà, à lui seul, meilleur que celui des machines simples; mais, dans le grand cylindre, pendant la détente, il se produisait une reévaporation qui abaissait, à la fin de la course, l'humidité de la vapeur à 17 pour 100, de sorte que la moitié environ de la vapeur condensée au petit cylindre s'était revaporisée au grand en produisant du travail. C'est à cette reévaporation, ainsi qu'à sa grande détente (4,4), que cette machine doit son économie, malgré la perte

assez grande de la chute de pression entre les deux cylindres. Mais on pourrait diminuer, par une meilleure disposition de la distribution et surtout par l'emploi d'un réservoir intermédiaire, cette perte, qui n'est pas d'ailleurs absolue, car la détente entre les deux cylindres contribue au séchage de la vapeur et à diminuer l'influence des parois au grand cylindre.

Quant aux machines simples, il faut remarquer qu'il s'agissait ici de faibles forces, d'appareils destinés à l'Agriculture, pour lesquels on a cherché avant tout la simplicité autant que le bon marché. On fonctionnait à faible détente, avec de faibles vitesses de piston et sans chemise de vapeur, c'est-à-dire dans des conditions thermiques déplorables, sacrifiant presque de parti pris l'économie de combustible. Les machines de ce genre sont extrêmement nombreuses en Agriculture : et c'est un faux calcul, car, par cheval effectif, la machine Strickland, tout aussi robuste, coûtait moins cher, pesait trois fois moins et dépensait deux fois moins. Aussi ne peut-on qu'approuver la conclusion suivante du rapport de MM. Unwin et Pidgeon :

« Bien que la machine et la chaudière de MM. Simpson et Strickland ne puissent pas être considérées comme un type entièrement satisfaisant de leur classe, leurs résultats démontrent que leur type est en tout supérieur à celui des machines concurrentes, et elles indiquent exactement la voie qu'il faudrait suivre si l'on pouvait persuader aux constructeurs l'abandon d'un type de machine largement adopté en ignorance de ses défauts inhérents et irrémédiables. »

TABLEAUX.

Essais de Newcastle. — Tableau A.

DIMENSIONS DES LOCOMOBILES.

	MACHINES SIMPLES.			MACHINES COMPOUND.			
	Foden.	Mac Laren.	Paxman.	Cooper.	Foden.	Paxman.	Mac Laren.
Cylindres :							
Course des pistons de basse et de haute pression	254^{mm}	380^{mm}	305^{mm}	280^{mm}	254^{mm}	355^{mm}	381^{mm}
Diamètre du petit cylindre *d*	190	216	241	152	120	146	146
» du grand cylindre D	»	»	»	229	241	235	229
Rapport des volumes du grand au petit cylindre $\left(\frac{D}{d}\right)^2$	»	»	»	2,25	4	2,60	2,45
Espace nuisible moyen : cylindre et lumières. Petit cylindre	»	1640^{cc}	1475^{cc}	1230^{cc}	»	885^{cc}	1016
Espace nuisible moyen : cylindre et lumières. Grand cylindre	»	»	»	1780	»	2100	1690
Espace intermédiaire entre le petit et le grand cylindre	»	»	»	14350	»	8480	7010
Foyer et grille :							
Surface de grille normale G	$0^{mq},312$	$0^{mq},622$	$0^{mq},533$	$0^{mq},341$	$0^{mq},312$	$0^{mq},495$	$0^{mq},622$
» » réelle pendant l'essai	0 ,245	0 ,315	0 ,435	0 ,341	0 ,245	0 ,401	0 ,315
Largeur des barreaux	$9^{mm},5$	$9^{mm},5$	13^{mm}	19^{mm}	$9^{mm},5$	13^{mm}	$9^{mm},5$
Vide entre les barreaux	6	5	6	6	6	6	5
Section de l'entrée d'air entre les barreaux. normale	$0^{mq},09$	$0^{mq},18$	$0^{mq},12$	$0^{mq},07$	$0^{mq},09$	$0^{mq},12$	$0^{mq},18$
Section de l'entrée d'air entre les barreaux. pendant l'essai	0 ,07	0 ,10	0 ,11	0 ,07	0 ,07	0 ,10	0 ,10
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille	780^{mm}	770^{mm}	825^{mm}	800^{mm}	640^{mm}	790^{mm}	770^{mm}
Surface de chauffe :							
Longueur des tubes							

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
» intérieur des tubes	17^{mq},5	16^{mq},8	18^{mq},10	9^{mq},14	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Surface de chauffe des tubes t	1 ,90	3 ,21	3 ,79	2 ,13	1 ,6	2 ,61	3 ,21
» » du foyer F	0 ,24	0 ,32	0 ,29	0 ,33	0 ,24	0 ,41	0 ,32
» du réchauffeur dans la boîte à fumée f	19 ,64	20 ,33	22 ,18	11 ,60	17 ,94	21 ,02	20 ,33
Surface totale, $s = t + F + f$	2 ,45	2 ,53	2 ,75	1 ,45	2 ,23	2 ,61	2 ,51
Mètres carrés de chauffe par cheval nominal	0 ,045	0 ,053	0 ,045	0 ,041	0 ,055	0 ,045	0 ,053
Section de la cheminée							
» de la tuyère d'échappement, en centimètres carrés	24^{cq}	20^{cq}	11^{cq},5	13^{cq}	20^{cq}	11^{cq},5	20^{cq}
Rapports $\frac{G}{c}$ (¹)	3,6	10,8	6,13	5,85	3,6	5,67	10,8
Rapports $\frac{s}{G}$	63,1	32,5	41,5	34	57,3	42,5	32,5
Rapports $\frac{s}{t}$	1,12	1,20	1,23	1,26	1,12	1,17	1,20
Rapports $\frac{s}{F}$	10,3	6,3	5,9	5,4	11,25	8,05	6,3
Rapports $\frac{t}{F}$	9,2	5,2	4,8	4,28	10	7	5,2
Rapports $\frac{F}{G}$	6,08	5,16	7,11	6,24	5,12	5,27	5,16
Rapports $\frac{t}{G}$	56	27,0	33,9	26,8	51,2	36,3	27
Volume total de la chaudière V	0^{mc},877	1^{mc},070	1^{mc},120	1^{mc},003	0^{mc},765	1^{mc},180	1^{mc},100
» de l'eau au niveau normal v	0 ,515	0 ,648	0 ,597	0 ,610	0 ,448	0 ,631	0 ,648
» de la vapeur au niveau normal, $V' = V - v$	0 ,362	0 ,422	0 ,523	0 ,393	0 ,317	0 ,549	0 ,452
Hauteur du niveau au-dessus du ciel du foyer	38^{mm}	57^{mm}	92^{mm}	54^{mm}	38^{mm}	86^{mm}	57^{mm}
Rapport $\frac{v}{V'}$	1,4	1,5	1,14	1,55	1,4	1,16	1,4

(¹) c représente le calorimètre ou la section des tubes.

Tableau B.

RÉSULTATS PRINCIPAUX DES ESSAIS DE NEWCASTLE.

	Machines simples.			Machines compound.			
	Foden.	Mac Laren.	Paxman.	Cooper.	Foden.	Paxman.	Mac Laren.
Eau vaporisée par kilog. de charbon, non comprise celle des enveloppes, *ramenée à* 100°	kg. 11,79	kg. 10,79	kg. 10,01	kg. 10,75	kg. 10,81	kg. 11,38	kg. 11,2[illegible]
Eau vaporisée par kilog. de charbon, y compris celle des enveloppes (calculée)	12,96	12,27	11,21	»	12,26	12,99	12,5[illegible]
Rendement de la chaudière rapporté à une vaporisation de 15^{kg},45 par kilogramme de charbon	0,839	0,786	0,725	0,696	0,794	0,840	0,814
Poids d'air par kilog. de charbon	kg. 12,42	kg. 26,20	kg. 23,45	kg. 19,03	kg. 15,22	kg. 24,43	kg. 27,4[illegible]
Id. en tant pour 100 du poids théorique de 11^{kg},38 d'air par kilogramme de charbon	109	230	206	167	133	215	241
Tours par minute	172	136	135	173	160	140	149
Puissance indiquée	ch. 13,88	ch. 23,43	ch. 19,82	ch. 21,12	ch. 18,63	ch. 22,77	ch. 24,01
» au frein, y compris le frottement du frein	11,37	16,98	16,94	17,25	17,57	20,33	21,07
Rendement organique	0,82	0,72	0,85	0,82	0,94	0,89	0,8[illegible]
Charbon par cheval-heure effectif	kg. 1,26	kg. 1,22	kg. 1,18	kg. 1,66	kg. 0,88	kg. 0,84	kg. 0,99

Tableau C.

COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DES ESSAIS DE CARDIFF.

	MACHINES SIMPLES.						MACHINES COMPOUND.		
	Newcastle.			Cardiff.			Newcastle.		
	Paxman.	Mac Laren.	Foden.	Clayton.	Reading.	Clayton.	Paxman.	Foden.	Mac Laren.
Charbon par cheval-heure effectif, en ne tenant pas compte du frottement du frein, et ramené à la même qualité de houille : celle de Llangennech.......... ..	kg. 1,21	kg. 1,25	kg. 1,31	kg. 1,27	kg. 1,30	kg. 1,31	kg. 0,863	kg. 0,900	kg. 1,05
Charbon par cheval-heure effectif, en tenant compte du frottement du frein; quantités évaluées en houille de Powell-Duffryn..	1,16	1,22	1,28	»	»	»	0,84	0,88	0,99

Tableau D.

COMPARAISON ENTRE LES ÉCONOMIES THÉORIQUES ET PRATIQUES OBTENUES PAR UNE AUGMENTATION DE PRESSION.

	CARDIFF.	NEWCASTLE.		
	Reading simple.	Paxman simple.	Paxman compound	Foden compound.
Pression de la vapeur (effective)...	$5^k,6$	$6^k,65$	$10^k,5$	$17^k,5$
Température de la vapeur t_1........	162°	168°	185°	208°
» absolue correspondante T_1........................	434°	541°	458°	481°
Température finale t_0..............	102°	102°	102°	102°
Coefficient économique $\frac{t_1 - t_0}{T_1}$	0,14	0,15	0,18	0,22
Comparaison de coefficients économiques........................	1,59	1,48	1,21	1
Eau dépensée par cheval-heure effectif, non comprise celle des enveloppes........................	$13^k,7$	12^k	$9^k,68$	$9^k,70$
Comparaison des dépenses d'eau....	1	0,87	0,70	0,71

Tableau E.

ANALYSE THERMIQUE DE LA LOCOMOBILE DAVEY-PAXMAN SIMPLE.

Chaleur totale dépensée	100
1° Vaporisation de l'eau du bois d'allumage à 195°	0,32
2° Élévation de 20° à 195° du bois et de l'air nécessaire à sa combustion	0,13
3° Vaporisation de l'eau du charbon à 195°	0,29
4° Élévation de 20° à 195° du charbon et de l'air nécessaire à sa combustion	4,44
5° Déplacement de l'atmosphère par les gaz brûlés du bois et du charbon et de l'air nécessaire à leur combustion	1,83
6° Échauffement de l'excès d'air et Déplacement de l'atmosphère par cet excès d'air	6,34
7° Vaporisation de l'eau dans la chaudière	71,78
8° Rayonnement et conductibilité	9,32
9° Cendres et charbon non brûlé	1,85
10° Divers	3,70

Tableau F.

REFROIDISSEMENT DES LOCOMOBILES PAR LE RAYONNEMENT.

(*Température extérieure* 20°.)

	MACHINES SIMPLES.		MACHINES COMPOUND.			
	Foden.	Paxman.	Cooper.	Foden.	Paxman.	M'L[illegible]
Volume de l'eau au niveau normal	$0^{mc},515$	$0^{mc},597$	$0^{mc},610$	$0^{mc},448$	$0^{mc},631$	0^{mc}[illegible]
Volume de la vapeur	$0^{mc},362$	$0^{mc},516$	$0^{mc},353$	$0^{mc},317$	$0^{mc},549$	0^{mc}[illegible]
Poids rayonnant de la chaudière et du mécanisme	8050^{kg}	3630^{kg}	3220^{kg}	8840^{kg}	3770^{kg}	3[illegible]
Pression de la vapeur (effective)	$8^{kg},40$	$6^{kg},65$	$8^{kg},75$	$17^{kg},5$	$10^{kg},5$	10[illegible]
Température de la vapeur	175°	168°	178°	208°	185°	1[illegible]
Puissance effective, en tenant compte du frottement du frein	$11^{ch}37$	$16^{ch},94$	$17^{ch},25$	$17^{ch},57$	$20^{ch},33$	21[illegible]
Charbon dépensé par heure	$14^{kg},2$	20^{kg}	$28^{kg},8$	$15^{kg},5$	$17^{kg},1$	2[illegible]
Calories fournies par la grille au taux de 8,300 par kil. de charbon, C	117,860	166,000	239,040	128,650	141,930	17[illegible]
Refroidissement en calories par heure, r	17,700	10,900	12,800	21,000	15,600	11,[illegible]
Équivalent en kilogr. de charbon	$2^{kg},12$	$1^{kg},31$	$1^{kg},54$	$2^{kg},50$	$1^{kg},50$	1^{kg}[illegible]
Rapport $\frac{r}{C}$	0,15	0,066	0,054	0,165	0,110	0,0[illegible]
Refroidissement en calories par cheval-heure effectif	1560	650	750	1200	750	55[illegible]

Tableau G.

ANALYSE DES GAZ DE LA COMBUSTION.

		Foden.	Mac Laren.	Paxman.	Cooper.	Foden.	Paxman.	Mac Laren.
Dosage en volumes.	Azote	80,13	80,92	80,10	80,15	80,03	80,09	80,67
	Oxyde de carbone	1,25	»	»	0,30	»	»	»
	Acide carbonique	15,75	7,75	8,90	10,65	14,25	8,55	7,50
	Oxygène	2,87	11,33	11,00	8,90	5,72	11,36	11,83
	Air non brûlé	53,67	53,95	52,38	42,38	27,24	54,09	56,33
Dosage en poids.	Azote	73,23	76,32	75,10	74,60	73,45	75,20	76,11
	Oxyde de carbone	1,14	»	»	0,27	»	»	»
	Acide carbonique	22,64	11,49	13,12	15,65	20,55	12,61	11,13
	Oxygène	2,99	12,21	11,79	9,48	6	12,19	12,76
	Air non brûlé	12,82	52,40	50,55	40,68	25,74	52,32	54,76
		kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Gaz brûlé par kilog. de charbon		11,70	12,36	12,09	12,06	12,15	12,10	12,29
Excès d'air » »		1,67	14,80	12,31	7,92	4,02	13,27	16,10
Air utilisé » »		10,75	11,40	11,14	11,11	11,20	11,16	11,33
Température extérieure		20°	24°	18°	18°	24°	20°	20°
» dans la boîte à fumée		198°	227°	196°	360°	224°	210°	238°
		kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Charbon total dépensé		62,6	90	87,5	117,5	67,1	76,2	91,8
Perte par les gaz brûlés en kilogrammes de charbon		3,82	6,65	4,28	14,4	4,76	5,12	7,20
Perte emportée par l'excès d'air		0,53	7,95	5,22	9,2	1,57	5,58	9,37
» totale dans la cheminée		4,35	14,60	9,50	23,6	6,33	10,70	16,57

Concours de Plymouth. — Tableau H.

DIMENSIONS DES MACHINES.

	SIMPSON (compound).	TURNER.	ADAMS.
Puissance nominale	3^{ch}	$2^{ch},5$	5^{ch}
Poids à vide	800^{kg}	1850^{kg}	2700^{kg}
Prix	2500^{fr}	2200^{fr}	2880^{fr}
Cylindres, diamètre grand D	152^{mm}	»	»
» » petit *d*	76	115^{mm}	180^{mm}
» course	152	190	250
Rapport $\left(\frac{D}{d}\right)^2$	4	»	»
Espace nuisible, grand cylindre	435^{cc}	»	»
» petit cylindre	213	310^{cc}	745^{cc}
Pression normale	$8^{kg},40$	$4^{kg},60$	$5^{kg},25$
Vitesse normale en tours par minute	300	220	140
Surface de grille G	$0^{mq},22$	$0^{mq},245$	$0^{mq},435$
Surface de chauffe totale S	6 ,07	3 ,21	4 ,26
Rapport $\frac{S}{G}$	27,2	13,15	9,80
Surface de surchauffe *s'*	$2^{mq},34$	»	»
Rapport $\frac{S}{s'}$	2,6	»	»
Volume de l'eau au niveau normal	170^{lit}	»	»

Tableau K.

RÉSULTATS DU CONCOURS DE PLYMOUTH.

	SIMPSON, STRICKLAND ET Cie Dartmouth — 1er prix.	TURNER à Ipswick. — 2e prix.	ADAMS ET Cie Northampton.
Chaudière :			
Pression moyenne effective	7kg,10	4kg,25	5kg,25
Température de l'eau d'alimentation.	17°,5	17°	14°
Réchauffage	4 ,2	41	0
Vaporisation réelle par kilogramme de charbon	8kg,725	7kg,65	5kg,98
Vaporisation ramenée à 100°	10 ,42	9 ,065	7 ,13
Rendement de la chaudière	0 ,689	0 ,60	0 ,53
Calories transmises par mètre carré de chauffe et par heure	9600cal	29600cal	24000cal
Vaporisation par mètre carré de chauffe et par heure	15kg,10	47kg,5	38kg
Charbon par mètre carré de grille et par heure	47 ,5	81 ,20	62 ,80
Mécanisme :			
Tours par minute	298,1	210,4	144,2
Pression moyenne effective au grand cylindre	0,78	»	»
Pression moyenne effective au petit cylindre	3,20	2,90	1,57
Puissance moyenne indiquée au grand cylindre	ch. 2,78	»	»
Puissance moyenne indiquée au petit cylindre	2,86	ch. 5,175	ch. 6,201
Puissance moyenne indiquée totale	5,64	5,175	6,201
Puissance moyenne effective	5,04	4	5
Rendement organique	0,89	0,77	0,81
Poids de la machine à vide par cheval effectif	160kg	460kg	540kg
Prix par cheval effectif	500fr	550fr	576fr
Vaporisation par cheval-heure indiqué	16kg,10	29kg,10	26kg,10
Charbon par cheval-heure indiqué	1 ,85	3 ,81	4 ,36
Détente réelle	4,4	1,2	1,6
Vitesse du piston en mètres par seconde	1m,50	1m,35	1m,25

Essais de Newcastle. — Tableau A.

DIMENSIONS DES LOCOMOBILES.

	MACHINES SIMPLES.			MACHINES COMPOUND.			
	Foden.	Mac Laren.	Paxman.	Cooper.	Foden.	Paxman.	Mac Laren.
Cylindres :							
Course des pistons de basse et de haute pression	254^{mm}	380^{mm}	305^{mm}	280^{mm}	254^{mm}	355^{mm}	381^{mm}
Diamètre du petit cylindre *d*	190	216	241	152	120	146	146
» du grand cylindre D	»	»	»	229	241	235	229
Rapport des volumes du grand au petit cylindre $\left(\frac{D}{d}\right)^2$	»	»	»	2,25	4	2,60	2,45
Espace nuisible moyen : cylindre et lumières. Petit cylindre	»	1640^{cc}	1475^{cc}	1230^{cc}	»	885^{cc}	1016^{cc}
Espace nuisible moyen : cylindre et lumières. Grand cylindre	»	»	»	1780	»	2100	1690
Espace intermédiaire entre le petit et le grand cylindre	»	»	»	14350	»	8480	7010
Foyer et grille :							
Surface de grille normale G	0^{mq},312	0^{mq},622	0^{mq},533	0^{mq},341	0^{mq},312	0^{mq},495	0^{mq},622
» » réelle pendant l'essai	0 ,245	0 ,315	0 ,435	0 ,341	0 ,245	0 ,401	0 ,315
Largeur des barreaux	9^{mm},5	9^{mm},5	13^{mm}	19^{mm}	9^{mm},5	13^{mm}	9^{mm},5
Vide entre les barreaux	6	5	6	6	6	6	5
Section de l'entrée d'air entre les barreaux. normale	0^{mq},09	0^{mq},18	0^{mq},12	0^{mq},07	0^{mq},09	0^{mq},12	0^{mq},18
Section de l'entrée d'air entre les barreaux. pendant l'essai	0 ,07	0 ,10	0 ,11	0 ,07	0 ,07	0 ,10	0 ,10
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille	780^{mm}	770^{mm}	825^{mm}	800^{mm}	640^{mm}	790^{mm}	770^{mm}
Surface de chauffe :							
Longueur des tubes	1^{m},83	2^{m},06	2^{m},15	2^{m},10	1^{m},67	2^{m},15	2^{m},08
Nombre des tubes	76	51	53	[illegible]	76	53	51

Diamètre extérieur des tubes		41mm	51mm	51mm	63mm	41mm	51mm	51mm
» intérieur des tubes		38	38	46	59	38	46	38
Surface de chauffe des tubes t		17mq,5	16mq,8	18mq,10	9mq,14	16mq,1	18mq	16mq,8
» » du foyer F		1 ,90	3 ,21	3 ,79	2 ,13	1 ,6	2 ,61	3 ,21
» du réchauffeur dans la boîte à fumée f		0 ,24	0 ,32	0 ,29	0 ,33	0 ,24	0 ,41	0 ,32
Surface totale, $s = t + F - f$		19 ,64	20 ,33	22 ,18	11 ,60	17 ,94	21 ,02	20 ,33
Mètres carrés de chauffe par cheval nominal		2 ,45	2 ,53	2 ,75	1 ,45	2 ,23	2 ,61	2 ,51
Section de la cheminée		0 ,045	0 ,053	0 ,045	0 ,041	0 ,055	0 ,045	0 ,053
» de la tuyère d'échappement, en centimètres carrés		24cq	20cq	11cq,5	13cq	20cq	11cq,5	20cq
Rapports	$\frac{G}{c}$ (¹)	3,6	10,8	6,13	5,85	3,6	5,67	10,8
	$\frac{s}{G}$	63,1	32,5	41,5	34	57,3	42,5	32,5
	$\frac{s}{t}$	1,12	1,20	1,23	1,26	1,12	1,17	1,20
	$\frac{s}{F}$	10,3	6,3	5,9	5,4	11,25	8,05	6,3
	$\frac{t}{F}$	9,2	5,2	4,8	4,28	10	7	5,2
	$\frac{F}{G}$	6,08	5,16	7,11	6,24	5,12	5,27	5,16
	$\frac{t}{G}$	56	27,0	33,9	26,8	51,2	36,3	27
Volume total de la chaudière V		0mc,877	1mc,070	1mc,120	1mc,003	0mc,765	1mc,180	1mc,100
» de l'eau au niveau normal v		0 ,515	0 ,648	0 ,597	0 ,610	0 ,448	0 ,631	0 ,648
» de la vapeur au niveau normal, $V' = V - v$		0 ,362	0 ,422	0 ,523	0 ,393	0 ,317	0 ,549	0 ,452
Hauteur du niveau au-dessus du ciel du foyer		38mm	57mm	92mm	54mm	38mm	86mm	57mm
Rapport $\frac{v}{V'}$		1,4	1,5	1,14	1,55	1,4	1,16	1,4

(¹) c représente le calorimètre ou la section des tubes.

a prouvé la légitimité et la haute portée de ses théories quand elle a montré que les corps simples qu'elle avait été amenée à considérer dans la matière de notre globe se retrouvent dans l'ensemble des astres qui peuplent les espaces célestes.

Oui, Messieurs, les sciences physiques et chimiques ont été transformées par leurs applications astronomiques.

La création de l'Analyse spectrale est un fait immense dans l'histoire des sciences.

D'abord, en lui-même; faire l'analyse chimique des corps à la distance qui nous sépare du Soleil, des étoiles, des nébuleuses, c'est une merveille qui dépasse tout ce que l'imagination pouvait rêver.

Mais en outre, et c'est ce qu'on n'a pas assez remarqué, les sciences naturelles, ce jour-là, ont fait un pas immense.

Il a été démontré que les principes et les vérités à la connaissance desquels elles étaient parvenues à l'aide d'études telluriques, d'études faites sur notre globe, étaient valables pour l'ensemble des astres. Et ce qui est démontré pour la Chimie et la Physique peut être pressenti pour les autres sciences naturelles. Nous commençons à comprendre qu'il y a une Géologie céleste, comme il y a une Physique et une Chimie célestes.

Et, si l'esprit de l'homme était assez pénétrant, il édifierait toutes les sciences de l'Univers avec les seules études du globe où il a été jeté.

Ainsi les sciences se transforment quand elles entrent dans le domaine de l'Astronomie.

Elles s'enrichissent, elles se complètent, leurs vérités s'étendent, leurs principes se généralisent et elles deviennent des doctrines de l'absolu et de l'universel.

Messieurs, c'est ce qui est arrivé à la Photographie le jour où elle a été adoptée par l'Astronomie.

Vous connaissez son histoire. Née des recherches et des méditations d'un homme de génie, simple, modeste et droit, elle s'est présentée au monde après que ce premier inventeur eut reçu la collaboration d'un homme qui apporta à l'œuvre un concours considérable, sans doute, et surtout un caractère beaucoup plus habile et positif.

Son apparition, placée sous le patronage d'un savant illustre, fit un grand bruit et une immense sensation.

Mais cet enthousiasme ne fut pas durable, et la raison en est que, d'une part, les savants et les artistes se désintéressèrent de l'art nouveau, et qu'à part quelques amateurs distingués, la Photographie fut surtout pratiquée par des personnes qui n'avaient que la préoccupation d'en tirer profit sans souci de son avancement.

Il faut bien le dire, Messieurs, c'est à partir du moment où la Photographie a reçu d'importantes applications à l'Astronomie qu'elle a commencé à être comptée comme un art utile, respectable, pouvant être cultivé par des hommes de science.

Jusqu'à ses applications astronomiques, la Photographie était délaissée, contestée. Les portraits et les paysages, tel était le domaine où l'opinion publique la considérait comme à jamais confinée.

Mais, quand on vit les merveilles de ses applications astronomiques, quand on vit les savants ne pas craindre d'en faire l'auxiliaire de leurs études journalières, l'opinion publique fut éveillée. Les autres applications se multiplièrent à l'envi : la Médecine, la Chirurgie, l'Histoire naturelle, la Géologie, puis les différentes branches des arts, et aujourd'hui, Messieurs, il serait aussi difficile d'énumérer toutes les applications de la Photographie que de prévoir toutes celles qui lui sont encore réservées.

La Photographie devra donc toujours conserver un souvenir reconnaissant à cette Astronomie, qui a été sa première émancipatrice et lui a restitué sa dignité et son importance.

Voyons donc, Messieurs, rapidement l'histoire de ces applications.

Après avoir exposé l'histoire des applications de la Photographie à l'étude de la surface de la Lune, à celles du Soleil, des comètes et des nébuleuses, l'orateur aborde un des points les plus intéressants de ces applications astronomiques par l'exposé sommaire de la méthode qu'il a proposée depuis longtemps pour mesurer, par la Photographie, les intensités relatives des rayonnements des astres.

Photométrie photographique.

Messieurs,

Un des objets les plus importants de la Photographie est son application à la Photométrie céleste.

On sait que la Photométrie a pour but de déterminer le rapport d'intensité de deux sources lumineuses.

Par exemple, déterminer le rapport du pouvoir lumineux d'une bougie et d'une lampe Carcel est un problème de Photométrie. Estimer en nombre de lampes Carcel le pouvoir d'une source électrique de lumière est également une opération de Photométrie.

Dans le ciel, nous avons fréquemment à faire des comparaisons de ce genre. Elles présentent toujours un grand intérêt et peuvent devenir la source de belles découvertes.

Nous savons, par exemple, que la Lune est un globe opaque qui n'est pas lumineux par lui-même, mais qui emprunte au Soleil la lumière dont il brille. Or nous pouvons nous demander quelle proportion de la lumière reçue à sa surface il nous renvoie, dans quelle mesure cette surface joue le rôle de miroir parfait et quelle est la valeur relative de cet éclat de la pleine Lune par rapport à celui du grand astre dont elle emprunte les rayons.

Indépendamment de l'intérêt que présente en elle-même une telle question, il est évident qu'une étude de ce genre, si elle est suffisamment approfondie, peut conduire à d'importantes conclusions relativement à la nature des matériaux qui constituent la surface de la Lune.

Des observations photométriques, appliquées de même à l'étude des planètes, conduiraient à d'intéressants résultats sur le pouvoir lumineux de leurs surfaces et des atmosphères dont elles sont entourées.

Mais, à l'égard des étoiles, ces études de Photométrie photographique acquièrent une importance toute particulière.

La quantité de lumière qu'une étoile nous envoie dépend

principalement de sa distance et de son pouvoir rayonnant intrinsèque, et la connaissance de l'un de ces deux éléments conduit à la détermination de l'autre.

Si nous connaissons, par exemple, la parallaxe d'une étoile et la valeur de son rayonnement à la surface de la Terre, nous pourrons en conclure la valeur absolue de ce rayonnement, c'est-à-dire le rang que tient l'astre dans l'ensemble des soleils auxquels on le compare. Ajoutez à cette connaissance celle de la qualité des radiations étudiées, et vous aurez un ensemble propre à définir d'une manière presque complète la grandeur, la constitution, l'activité de l'astre en question.

Les comètes, les nébuleuses donneraient lieu à des remarques semblables.

La Photométrie céleste constitue donc une des méthodes les plus importantes de l'Astronomie et il est bien intéressant de voir quel secours la Photographie peut lui apporter.

Voici à cet égard la méthode que j'ai proposée et appliquée [1].

On sait que, dans la méthode photométrique ordinaire, le rapport d'intensité des sources lumineuses est obtenu en ramenant, par un déplacement convenable de l'une des sources, l'égalité des ombres ou des éclairements qu'elles produisent.

En Photographie, nous n'avons pour juger la puissance d'un objet lumineux ou éclairé que le résultat de son action photographique, c'est-à-dire l'opacité plus ou moins grande du dépôt métallique qu'il provoque sur la couche sensible.

L'importance de ce dépôt est bien loin d'être proportionnelle au temps de l'action lumineuse, et si l'on pouvait, par un artifice convenable, provoquer ce dépôt au fur et à mesure de l'action de la source, on le verrait augmenter d'abord rapidement, ensuite plus lentement, et enfin rester presque stationnaire pendant l'action toujours égale cependant de la source lumineuse.

On ne peut donc pas prendre pour mesure de l'intensité d'une source lumineuse le degré d'opacité du dépôt métallique

---

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCII, séance du 4 avril 1881.

qu'elle provoque, puisque cette opacité n'est pas proportionnelle à son action pendant un temps déterminé.

Mais si, au lieu de considérer les degrés divers d'opacité en rapport avec l'égalité des temps d'action, on considère, au contraire, les temps variables nécessaires pour obtenir un dépôt de même opacité, on aura une base sûre pour les comparaisons, et c'est ce qui, en effet, résulte des expériences.

C'est qu'en effet pour provoquer, dans une couche sensible, un dépôt métallique d'une valeur déterminée, il faut une certaine somme d'actions radiantes, et que cette somme peut être réalisée dans un temps plus ou moins long suivant la puissance de la source, mais qu'elle paraît invariable dans sa grandeur, d'où il suit que l'énergie d'une source se trouve mesurée par le temps qui lui est nécessaire pour atteindre cette valeur déterminée.

D'après ce principe, deux sources sont entre elles en raison inverse des temps qui leur sont nécessaires pour produire des dépôts de même valeur sur une même couche sensible, ou si l'on veut, pour réaliser des travaux photographiques égaux.

Tel est le principe que j'ai adopté dans mes recherches de Photométrie photographique.

Je me suis assuré expérimentalement de la légitimité de ce principe en cherchant les valeurs respectives des temps nécessaires pour obtenir des teintes de même opacité sur une même couche sensible placée à des distances croissantes d'une source lumineuse. On trouve que ces temps croissent comme les carrés des distances à la source.

Ainsi, pour des distances égales à 1, 2, 3, 4, ..., 8, etc., les temps sont entre eux comme 1, 4, 9, 16, ..., 64, etc.

Il faut, bien entendu, opérer avec une même couche, éviter toutes les actions lumineuses etrangères, développer les plaques dans le même bain; en un mot, s'entourer de toutes les précautions nécessaires.

Remarquons encore que, pour obtenir de la méthode les meilleurs résultats possible, il faut avoir soin de choisir l'opacité qui correspond à la variation la plus rapide sous l'action de la source, ce qui arrive vers le début de l'action.

Examinons maintenant comment cette méthode peut être appliquée à l'étude photométrique des astres.

Depuis longtemps les astronomes et les physiciens ont cherché à déterminer l'intensité lumineuse de la Lune, par rapport à celle du Soleil.

Bouguer paraît être celui qui s'est le plus approché de la vérité.

En se servant de l'intermédiaire d'une bougie, il trouva que la lumière de la pleine Lune, dans ses distances moyennes, est environ 300 000 fois plus faible que celle du Soleil.

On pourrait critiquer l'emploi de la bougie comme terme de comparaison, en raison de la teinte de sa lumière, qui est plus jaune que celle du Soleil, et surtout que celle de la Lune, ce qui dut amener des difficultés particulières pour l'estimation des égalités des ombres. Bouguer aurait beaucoup amélioré sa méthode en tamisant la lumière de la bougie au moyen d'un verre bleu de teinte convenable, de manière à en rapprocher la couleur des rayons lunaires.

Quoi qu'il en soit, il est remarquable que cette détermination déjà ancienne concorde très sensiblement avec les mesures photographiques que j'ai obtenues en prenant des séries d'images solaires et lunaires, et comparant les temps de pose auxquels correspondaient des images de même intensité ou opacité.

Il faut encore remarquer que la détermination de Bouguer s'adressait à l'ensemble des rayons qui agissent sur l'œil, tandis que les images photographiques sont formées avec des faisceaux plus réfrangibles.

On en pourrait déjà conclure que les rayons lunaires sont très photographiques et ont une action énergique dans le bleu et le violet. C'est du reste ce que la teinte de la lumière lunaire permettait de prévoir.

Remarquons en passant combien ce résultat des mesures photométriques est intéressant, puisqu'il nous révèle l'élasticité vraiment admirable de notre organe visuel.

Quand une région terrestre est éclairée par la pleine Lune, elle ne reçoit qu'une quantité de lumière deux à trois cent

mille fois plus faible que celle qui correspond au plein jour. Il semblerait qu'une si prodigieuse diminution d'éclairement des objets doit amener une nuit complète. Et cependant, notre organe prend alors une telle sensibilité que non seulement nous pouvons nous conduire, distinguer les objets, en percevoir les détails, mais encore jouir du paysage et quelquefois même, dans les belles régions tropicales et par des nuits sereines, avoir presque l'illusion du jour lui-même.

Avant de quitter la Lune, disons un mot de la lumière cendrée.

Vous savez que quand la Lune est nouvelle, le léger croissant qui se dessine est souvent complété par une lumière infiniment plus pâle qui nous permet d'apercevoir le disque lunaire tout entier. Dans les régions tropicales dont je viens de parler, cette illumination est souvent assez forte pour qu'on puisse distinguer parfaitement dans une lunette, non seulement les grandes mers de la Lune, mais encore les grands cratères et les principaux accidents de sa surface.

Le génie de Léonard de Vinci avait deviné que cette partie du globe lunaire rendue ainsi visible, quoique non éclairée par le Soleil, devait sa lumière à la Terre. La Photométrie photographique peut encore nous donner le rapport d'intensité de cette lumière cendrée, comme on la nomme, à celle que le globe lunaire nous envoie quand il est éclairé par le Soleil.

Or, dans une expérience faite avec un télescope de $0^{m},50$ d'ouverture et $1^{m},60$ de distance focale, j'ai obtenu une image de globe lunaire rendue visible par la lumière cendrée en 60 secondes, et cette image, qu'on va projeter devant vous, montre les grands accidents de la surface lunaire. D'un autre côté, dans une série d'images de la pleine Lune réalisée avec le même instrument, on trouve qu'il faut prendre l'image obtenue en $\frac{1}{80}$ de seconde pour avoir une épreuve de même intensité que celle donnée par la lumière cendrée.

Ces résultats conduisent à admettre que le pouvoir photographique de la lumière cendrée est environ cinq mille fois plus faible que celui de la pleine Lune. Arago avait trouvé dans une observation le chiffre de quatre mille, et, dans une autre observation subséquente, sept mille.

Le nombre cinq mille paraît plus près de la vérité.

Ces déterminations ne doivent être considérées que comme de premiers résultats, qui devront être complétés par une étude détaillée dans laquelle on fera entrer les diverses circonstances de positions respectives des astres en présence, qui influent sur l'intensité et la qualité de cette lumière.

Aux foyers des lunettes ou télescopes, les étoiles forment, sur les plaques photographiques, des points qui se prêtent difficilement aux comparaisons qui forment la base de la méthode de Photométrie photographique; aussi ai-je proposé pour cette étude, au lieu de mettre la plaque sensible au foyer même de l'instrument, de la placer un peu en avant. On obtient ainsi, pour chaque étoile, au lieu d'un point, un petit cercle résultant de la section par la plaque du faisceau conique des rayons qui forment l'image stellaire. Si la lunette est bonne, ce petit cercle sera uniformément éclairé.

Je nomme ce cercle : cercle stellaire. Avec les étoiles des premières grandeurs et un instrument de pouvoir modéré, il suffit de quelques secondes pour en obtenir l'image. On peut donc facilement produire, sur la même plaque, une série de cercles à poses croissantes et graduées.

En répétant la même série avec la seconde étoile à comparer, il ne restera plus qu'à chercher après développement, dans les deux séries, deux cercles d'égale intensité. Les pouvoirs lumineux photographiques des deux étoiles seront entre eux en raison inverse des temps respectivement employés à la production des cercles considérés.

Si l'on veut comparer l'étoile au Soleil, il faut employer un artifice particulier à cause de l'énorme pouvoir lumineux de cet astre.

On peut employer alors le *photomètre photographique*.

Imaginons un châssis pouvant recevoir une plaque sensible et, sur celle-ci, une plaque obturatrice métallique percée de trous de la grandeur des cercles stellaires. Devant cette plaque, se meut, par le moyen d'un ressort, une seconde plaque portant une ouverture ou fenêtre triangulaire. Quand la fenêtre, par suite de l'action du ressort, passera devant les trous de la plaque obturatrice, elle déterminera pour chacun d'eux

une action lumineuse, qui sera mesurée par la grandeur de la fenêtre au point qui lui correspond, et par la vitesse de la trappe estimée au diapason.

On obtient ainsi une série de cercles d'intensités croissantes, qui peuvent être comparés aux cercles stellaires.

Ces cercles sont obtenus avec le Soleil agissant directement. Il est nécessaire, pour rendre les résultats plus comparables, de placer devant la fenêtre l'objectif de la lunette qui a servi à obtenir les cercles stellaires. Les rayons solaires auront alors, dans les deux cas, subi les mêmes actions d'absorption et de réflexion que ceux de l'étoile de comparaison.

Cette méthode, dont les résultats ont été communiqués à l'Académie [1], a été appliquée à l'étude des pouvoirs rayonnants de plusieurs étoiles. Notamment, elle a servi à obtenir une comparaison entre le pouvoir rayonnant de notre Soleil, et celui de la plus grande étoile de notre ciel, Sirius, et elle a montré que ce Soleil colossal a une puissance de rayonnement décuple de celui du nôtre.

Mais, Messieurs, où la Photométrie photographique montre sa supériorité, c'est quand il s'agit de mesurer le pouvoir lumineux de parties déterminées d'un objet dont on ne veut pas se contenter de considérer la radiation d'ensemble.

C'est ainsi que nous avons pu estimer l'illumination des diverses parties de la queue de la comète *b* 1881, dont nous avions obtenu une photographie, et assigner, très approximativement, la loi suivant laquelle cette illumination décroît avec la distance au noyau.

Voici, dans ce cas, quel était le dispositif employé.

Sur la plaque photographique, placée dans un châssis, on place un écran portant une ouverture qui figure la queue de la comète. Devant l'appareil, est placé un obturateur dans lequel on a découpé un triangle dont la base est rectiligne, mais dont les côtés sont des courbes qui, partant des extrémités de la base, vont se rejoindre au sommet. On conçoit que, quand cette fenêtre triangulaire passera devant la plaque, la lumière agira sur les divers points de cette plaque pendant

[1] Séance du 4 avril 1881.

un temps qui sera réglé en chaque point par la largeur de la fenêtre en ce point. A la base du triangle, la durée de la pose sera plus longue : c'est celle qui déterminera la formation de la queue près du noyau de la comète. Au sommet, au contraire, l'action lumineuse sera nulle : ce sera le point où la queue s'évanouit. Dans les points intermédiaires, la durée de l'action lumineuse dépendra de la largeur de la fenêtre en ces points, c'est-à-dire de la forme des courbes latérales. Or, comme nous venons de le dire, nous sommes parti de la parabole générale $ay = x^m$, et nous avons choisi les formes particulières de manière à obtenir une série de comètes artificielles dans lesquelles l'action lumineuse décroît, dans une première, suivant la raison inverse de la distance au noyau; dans une seconde, suivant la raison inverse du cube, etc.

On obtient ainsi une série d'images de la queue de la comète, dans lesquelles l'intensité décroît suivant une raison croissante des puissances de la distance au noyau.

Le résultat de ces comparaisons pour la comète de 1881, que nous avons étudiée, a permis de placer la loi du décroissement du pouvoir lumineux photographique de la queue de cette comète entre la quatrième et la sixième puissance de la distance au noyau.

On voit avec quelle énorme rapidité le pouvoir lumineux décroît dans les appendices de ces astres.

La méthode de Photométrie par les cercles stellaires reçoit encore une intéressante application quand il s'agit d'obtenir une mesure des conditions dans lesquelles la photographie d'un astre a été obtenue, et spécialement à l'égard des nébuleuses.

Une nébuleuse n'est pas un objet à contours arrêtés comme le Soleil, la Lune et les autres objets célestes. Son image présente l'aspect de nuages dont les diverses parties ont un pouvoir lumineux extrêmement variable. Il en résulte que, suivant la puissance de l'instrument, le temps de pose, la sensibilité de la plaque photographique, la transparence de l'atmosphère, etc., on obtient d'une même nébuleuse des images plus ou moins complètes, plus ou moins étendues, qui pourraient même se présenter comme ne se rapportant pas au

même objet. Par exemple, si une nébuleuse présente des parties brillantes, reliées par des parties plus sombres, et qu'on prenne de cette nébuleuse des images de poses très différentes, les images correspondant aux poses les plus courtes pourront ne montrer que les seules parties brillantes sans aucune trace des parties intermédiaires figurant ainsi plusieurs nébuleuses distinctes, tandis que les images de poses plus prolongées seront de plus en plus complètes.

C'est ainsi que nous avons obtenu à Meudon, en 1881, une série d'images de la nébuleuse d'Orion, qui montre combien l'aspect de cet astre change avec la longueur du temps de pose.

Et cependant, si nous voulons laisser aux temps futurs des documents qui permettent de constater d'une manière certaine les changements que le temps aura amenés dans ces astres, il faut que les images qui seront prises plus tard soient comparables à celles que nous obtenons aujourd'hui.

C'est ici que l'emploi des cercles stellaires peut être d'un précieux secours.

Supposons que, sur la plaque qui vient de recevoir l'impression lumineuse devant donner l'image de la nébuleuse, on forme les cercles stellaires de quelques belles étoiles bien choisies, non variables et situées dans le voisinage, on obtiendra alors, après développement, avec l'image de la nébuleuse, celles des cercles stellaires de comparaison. Les rapports des temps de pose de l'image nébulaire et des cercles doit être noté soigneusement.

Plus tard, quand on voudra obtenir de cette même nébuleuse une image comparable, il n'y aura plus qu'à chercher le temps de pose qui donnera à nos cercles de comparaison la même intensité, et le rapport dont nous venons de parler conduira à la connaissance du temps de pose nécessaire pour donner à l'image de la nébuleuse l'intensité qui la rendra comparable à celle de l'époque actuelle.

Ceci suppose, bien entendu, que le rapport entre les diamètres de l'image de la nébuleuse et ceux des cercles sera maintenu, afin que les intensités de la lumière ayant formé les uns et les autres conservent le même rapport.

Il est remarquable que l'on puisse ainsi, grâce à cet artifice, obtenir après un intervalle de temps quelconque, et quelle que soit la différence des conditions qui président à la formation de l'image, une image tout à fait comparable à la première.

Messieurs, vous venez de voir, par ce trop rapide exposé, l'importance des applications de la Photographie à l'Astronomie; et cependant, on peut dire que ces applications ne sont, en quelque sorte, qu'à leur début. Leur avenir est immense et il est impossible d'en prévoir les bornes. Souhaitons que la France y prenne une part digne d'elle.

La Photographie est une découverte française, et, j'ajoute, presque un art français, car, si à sa découverte se rattachent les noms de Niepce et de Daguerre, son patronage et son développement nous rappellent ceux d'Arago, de Fizeau, de Becquerel, de Faye, de Davanne, de Lippmann, de Cornu, de Marey, etc., et de tant d'éminents praticiens qui joignent l'art à l'habileté professionnelle.

Il faut continuer dans cette voie; aussi, Messieurs, devons-nous applaudir aux efforts de M. le Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers pour y fonder un cours complet de Photographie théorique et appliquée. La Photographie a pris un tel développement sous ses formes diverses, elle apporte un concours si puissant aux arts et à l'industrie, qu'il est de la dernière importance d'en répandre largement l'enseignement. Or, un tel enseignement ne peut être mieux placé qu'ici, au foyer même de cette industrie parisienne qui déploie tant d'intelligence et de goût, et qu'il faut armer de tout ce qui peut lui maintenir sa supériorité reconnue dans le monde entier.

C'est ce que nous avons tous compris, Messieurs, aussi avez-vous vu avec quel empressement des membres nombreux de l'Académie des Sciences et tant d'autres éminentes personnalités ont donné leur concours et ont voulu témoigner de l'importance qu'ils attachaient à cette création. Messieurs, l'année dernière, je recevais la visite d'un savant autrichien qui venait me faire part de la création, à Vienne, d'une grande école de Photographie, placée sous le patronage de l'Empereur. J'ai applaudi, mais, en même temps, j'ai pensé à mon pays, et

je me suis demandé si nous ne suivrions pas bientôt cet exemple. Suivons-le, Messieurs, et si l'école de Vienne est placée sous le patronage de l'Empereur, plaçons la nôtre sous celui de l'opinion publique. Qu'elle demande cette indispensable création, sa grande voix sera écoutée et les pouvoirs publics seront heureux de faire ce léger sacrifice, réclamé dans l'intérêt de notre supériorité industrielle, artistique, intellectuelle.



LA

PHOTOGRAPHIE CÉLESTE,

CONFÉRENCE DU 17 JANVIER 1892 (¹)

Par M. A. CORNU,

Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes,
Professeur à l'École Polytechnique,
Membre d'honneur de la Société française de Photographie.

MESSIEURS,

Il y a quelques semaines, mon savant confrère, M. Janssen, vous faisait le tableau éloquent des services que la Photographie a rendus et doit rendre encore à la science astronomique, la *Science des Sciences*, suivant l'heureuse expression par laquelle il commençait son discours. Dans ce brillant exposé, l'habile directeur de l'Observatoire de Meudon a eu surtout en vue l'Astronomie physique, c'est-à-dire la description des objets célestes, leur structure, leur variation d'aspect. Les magnifiques épreuves qu'il a fait passer sous vos yeux vous ont apporté, sous des formes saisissantes, les grands résultats dont il décrivait l'importance et l'intérêt.

Aujourd'hui, je vais aborder devant vous l'exposé d'un autre genre de services rendus à la même science par la Photographie. Sous le titre de *Photographie céleste*, nous comprendrons le concours que la Photographie apporte aux mesures astronomiques de haute précision.

Vous savez, en effet, que l'Astronomie ne se borne plus,

(¹) Cette conférence a déjà paru dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, dont le Directeur, M. Louis Olivier, a eu l'obligeance de nous prêter les clichés des figures insérées ci-après, p. 268, 269 et 275.

comme au temps des pasteurs de la Chaldée, à la contemplation des astres. Depuis longtemps, son rôle est devenu plus difficile : elle détermine les trajectoires de ces astres, elle recherche les lois de leurs mouvements, de leurs transformations, pour déduire des observations du passé les mouvements et les transformations de l'avenir. C'est du résultat de ces calculs, exécutés plusieurs années d'avance, que le voyageur, dans les déserts, que le marin, sur les océans, attendent la direction de leur route. Pour ces admirables prévisions, il faut des mesures d'une délicatesse incomparable. Jusqu'à ces derniers temps, on faisait ces observations sur les images visibles au foyer des télescopes et des lunettes. La Photographie a ouvert une ère nouvelle : c'est sur l'image des astres fixée à la surface de la plaque sensible que l'on cherche maintenant à effectuer tout ce travail de haute précision.

Il n'est donc pas nécessaire d'insister plus longuement sur l'importance de cette nouvelle méthode. Les développements que je vais vous exposer à ce sujet seront peut-être un peu arides, un peu sévères; mais j'espère qu'ils vous feront comprendre d'une manière bien nette les grands services que la Photographie est appelée à rendre à l'Astronomie de précision et, par suite, à la Mécanique céleste.

Dans cet exposé, je me bornerai à choisir, dans l'ordre historique, les principales étapes des progrès successivement accomplis.

I. — Procédés et appareils.

Ces progrès ont toujours été corrélatifs de ceux de la sensibilité des substances impressionnables à la lumière. Ainsi, on a commencé par la photographie du Soleil, dont l'éclat considérable n'exige qu'une sensibilité médiocre. Quand les procédés se sont perfectionnés avec les collodions, on a passé aux observations de la Lune et des planètes, en un mot des astres errants donnant le plus de lumière par unité de surface. Enfin, la découverte des plaques extrêmement sensibles, au gélatinobromure d'argent, a permis d'attaquer les grands problèmes de la carte céleste, c'est-à-dire l'obtention directe et en quelque sorte automatique de l'image des étoiles fixes.

La Carte photographique du ciel offre en effet à peu près tous les genres de difficultés que la Photographie a été appelée successivement à vaincre : finesse des images, perfection de la similitude géométrique, compensation du mouvement de l'objet, etc. Le succès de cette grande entreprise est donc le couronnement de tous les progrès accomplis par la Photographie. D'après ces nouveaux perfectionnements, vous devez comprendre que la Photographie se prête à l'emploi des méthodes les plus délicates de l'Astronomie. Si, sous quelques rapports, la Photographie est inférieure à l'observation directe, sous beaucoup d'autres, elle lui est supérieure.

L'infériorité générale de la méthode photographique, c'est la substitution à l'image, en quelque sorte immatérielle, qui se produit au foyer des lunettes et des télescopes, d'une image matérielle, composée de petits grains plus ou moins grossiers. De plus, on utilise, pour la Photographie, non pas les radiations que notre œil perçoit, mais d'autres, peu différentes, il est vrai, mais qui cependant ne sont pas les mêmes; de sorte que la Photographie ne représente pas exactement l'image que notre œil est accoutumé à observer. Si cette dernière altération de la nature de l'image est parfois un inconvénient, il est juste de dire que, le plus souvent, elle constitue un grand avantage, puisque la Photographie permet de fixer des détails que l'œil n'apercevait pas. D'ailleurs, cet inconvénient, comme beaucoup d'autres, a été considérablement atténué par les progrès successivement réalisés. Ces réserves faites, les avantages de l'observation photographique sur l'observation de l'image directe sont considérables. En premier lieu, la simultanéité d'impressions de tous les objets du champ visuel permet d'éliminer, au point de vue des mesures, les petites erreurs d'appréciation qui entachent des observations optiques inévitablement successives. En second lieu, on doit considérer comme un avantage inappréciable l'obtention simultanée, sur une même épreuve, d'un nombre considérable d'objets ou de phénomènes que l'œil aurait été obligé d'examiner successivement. Les cartes d'étoiles que je vous soumettrai tout à l'heure vous montreront combien, en quelques minutes, on peut obtenir d'étoiles sur la même plaque.

Au point de vue des études stellaires, la Photographie rend sous ce rapport un service incalculable à l'astronome : elle lui économise un temps précieux; elle lui permet de mieux utiliser les heures si rares où les observations peuvent être faites favorablement ou encore de conserver l'image fidèle de phénomènes trop rapides pour pouvoir être étudiés au moment où ils ont lieu.

Passons maintenant rapidement en revue les conditions essentielles que doit remplir une épreuve photographique pour se prêter aux mesures de haute précision.

Ces conditions se résument à trois : l'épreuve doit être *fidèle*, *détaillée* et *rapide*. L'épreuve doit être fidèle, c'est-à-dire qu'elle doit présenter les formes générales, sans aucune altération ni *distorsion*. L'épreuve doit être remplie de détails : une image grossière, fût-elle correcte dans l'ensemble, n'aurait, pour l'astronome, qu'une valeur insignifiante. Enfin la rapidité est une condition, en quelque sorte, essentielle : c'est celle qui a guidé le progrès. Tant qu'on n'a eu que des substances peu rapides, l'Astronomie n'a tiré qu'un profit médiocre de la Photographie; au contraire, les applications se sont multipliées à l'infini depuis l'invention des émulsions très sensibles.

Voyons comment les appareils d'optique peuvent donner des images fidèles et détaillées.

D'abord, je vous ferai remarquer que ce sont toujours des lentilles, des miroirs, ou des combinaisons plus ou moins simples de ces éléments qui sont chargés de produire, à leur foyer réel, les images photographiques. Chaque point de ces images est constitué par la réunion des radiations émanées de l'objet lumineux. Or, les radiations utilisées en Photographie ne sont pas, nous l'avons déjà dit, les mêmes radiations que celles qui impressionnent notre œil. Vous savez, en effet, que les rayons de la lumière blanche ne sont pas simples, et que la partie qui fournit le plus grand éclat visible, c'est la lumière jaune. En Photographie, c'est la partie située entre bleu et violet, au voisinage de la raie G de Frauenhofer, qui correspond au maximum d'impression photochimique.

D'où résulte ce fait bien connu de ceux qui manient les ap-

pareils photographiques : à savoir, que la plus grande netteté des épreuves ne se produit pas exactement dans le même plan focal que la plus grande netteté des images visibles.

Avec des lentilles simples, le *foyer chimique* est notablement en avant du *foyer visible*, parce que tous les verres réfractent plus les rayons violets que les rayons jaunes ; le point de convergence des rayons violets est donc plus rapproché de la lentille que le point de convergence des rayons jaunes.

Lorsqu'on cherche méthodiquement à obtenir ce foyer chimique, on reconnaît qu'une lentille simple ne donne jamais, sauf dans des cas très particuliers, une très grande finesse d'image ([1]). Cela tient à ce que, si le maximum d'impression photochimique a lieu pour les radiations indigo, voisines de G, la radiation bleue, moins réfrangible, et surtout la série des radiations violettes et ultra-violettes, plus réfrangibles, ont une action très appréciable.

Or, ces diverses radiations formant leur foyer en avant et en arrière du plan focal de la radiation de couleur indigo superposent une série d'images imparfaites à l'image principale. Chacune individuellement n'aurait pas grande influence ; mais leur superposition, fournissant une *somme* d'impressions, cause un trouble très appréciable sur les contours.

De là, la nécessité de rendre les lentilles achromatiques pour les rayons chimiques, comme on est obligé de les rendre achromatiques pour les rayons visibles lorsqu'on les destine aux observations de pure Optique.

Vous savez comment on y parvient : on accole à la lentille simple convergente (en *crown glass*) une lentille divergente d'un verre particulier (*flint glass*) plus *dispersif*, c'est-à-dire qui, toutes choses égales, offre une différence plus considérable dans la réfraction des couleurs extrêmes, rouge et violet.

Cette lentille additionnelle allonge considérablement le foyer moyen de la lentille convergente, mais elle agit inégalement

([1]) On doit citer le procédé que M. Janssen a utilisé très ingénieusement pour la Photographie solaire : un temps de pose de plus en plus rapide affaiblit l'action de toutes les radiations ; à la limite il ne reste plus que celle de la plus intense ; de sorte que, dans ces conditions, la lentille simple fonctionne comme une lentille achromatique.

sur les diverses radiations : elle allonge le foyer du violet plus que celui du rouge, de sorte qu'on arrive à établir la coïncidence entre les foyers des couleurs extrêmes. De là un achromatisme très approché. La comparaison des *fig.* 1 et 2, qui montrent la répartition des foyers des sept couleurs principales

Fig. 1.



Lentille simple.

du spectre, vous donnera une idée exacte de ce que produit l'adjonction de la lentille divergente.

Avec la lentille simple (*fig.* 1), la série des distances focales croîtrait du violet au rouge (VIBVJOR).

Avec le système de deux lentilles (*fig.* 2) calculées pour

Fig. 2.



Système de deux lentilles.

donner le meilleur achromatisme visible, la série des distances focales est en quelque sorte repliée sur elle-même, comme le serait un ruban qu'on replierait de manière à mettre en coïncidence deux de ses points; le meilleur effet s'obtient en faisant coïncider le foyer des rayons bleus avec celui des rayons rouge orangé.

On voit, d'après cela, que l'achromatisme obtenu n'est pas rigoureux, puisque toutes les couleurs ne forment pas leur foyer au même point; mais cependant l'effet est pratiquement très satisfaisant, car les radiations comprises entre le vert et l'orangé, les plus efficaces pour la vue, sont réunies dans un espace extrêmement restreint qui se trouve définir le minimum de distance focale du système.

Cette analyse de l'achromatisme pour les rayons visibles, montre immédiatement comment on doit répartir les foyers

pour obtenir le meilleur achromatisme du rayon photographique. Il faut *replier* le spectre de manière que les foyers des radiations les plus efficaces au point de vue photochimique soient resserrés dans la région du minimum de distance focale.

La *fig.* 3 montre la répartition des foyers des diverses couleurs d'un objectif achromatique pour les rayons chimiques;

Fig. 3.



Objectif achromatique pour les rayons chimiques.

le foyer de l'indigo occupe la place correspondant au jaune dans les objectifs achromatisés pour les rayons visibles.

On voit ainsi que, *pour utiliser le mieux possible la plus grande partie, sinon la totalité, des radiations efficaces* d'une source donnée, la Photographie exige des objectifs spéciaux, calculés en vue de la région spectrale où la couche impressionnable offre le maximum de sensibilité. Actuellement les émulsions les plus sensibles, dites au *gélatinobromure*, offrent un maximum très marqué vers l'indigo; mais si, par le progrès des préparations photochimiques, la position du maximum était modifiée soit du côté de l'ultra-violet, soit de préférence du côté jaune (ce qu'on recherche avec les plaques isochromatiques), il faudrait changer le calcul des objectifs afin de donner la distance focale minimum à la radiation d'action maximum.

Telle est la condition correcte pour obtenir la meilleure utilisation de la totalité des radiations photochimiques efficaces; mais, le plus souvent, il n'est pas nécessaire d'utiliser toutes les radiations; la plus intense suffit généralement pour obtenir des images sinon parfaites, du moins très suffisantes : alors la rigueur de l'achromatisme chimique devient secondaire, et l'on peut très bien se contenter de l'achromatisme optique, que les opticiens réussissent en général d'une manière remarquable. La *fig.* 2, qui représente dans ce cas la répartition des foyers des diverses radiations, montre que le

foyer des rayons indigo est un peu en arrière du foyer des rayons jaunes : c'est, on le voit, la disposition inverse que présente la lentille simple (*fig.* 1).

On est donc assuré de trouver le *foyer chimique* en le cherchant méthodiquement en arrière du foyer visible, qu'on détermine avec une grande précision (¹) : il se trouve généralement à une distance voisine de $\frac{1}{200}$ de la distance focale principale. On comprend, en voyant combien les foyers sont déjà rapprochés, comment on peut obtenir des images relativement bonnes avec des objectifs achromatisés pour les rayons visibles. Si, en outre, l'ouverture angulaire de l'objectif est faible ($\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{30}$), on arrive alors à des résultats très satisfaisants, à cause de la *tolérance* subsistant pour la mise au point.

C'est ce qui a permis, dans un certain nombre d'observations, d'utiliser les objectifs des grands équatoriaux (qui remplissent toujours ces conditions de faible ouverture), d'obtenir de très belles épreuves d'astres brillants comme le Soleil ou la Lune, et même d'astres faibles comme les étoiles : nous aurons d'ailleurs l'occasion de revenir plus loin sur ce point.

L'idée si naturelle d'utiliser pour la Photographie les grands objectifs astronomiques, dont les qualités optiques sont reconnues, a conduit à rechercher un moyen d'obtenir l'achromatisme chimique sans altérer les courbures des verres, de manière à se servir alternativement du même instrument pour les observations optiques ou photographiques.

Rutherfurd, en Amérique, imagina d'ajouter un troisième verre compensateur qui transformait l'achromatisme optique en achromatisme chimique, et c'est grâce à cette adjonction qu'il obtint ces belles épreuves de la Lune, remarquables par la finesse des détails.

Ce procédé a malheureusement le défaut non seulement d'être très coûteux, mais de nécessiter un verre aussi parfait

(¹) Il suffit de placer dans le châssis porte-plaque une glace présentant des rayures sur la face qui remplace la couche sensible; avec une forte loupe on met les traits en coïncidence avec l'image focale.

comme matière et comme surfaces que les deux verres de l'objectif employé.

On peut arriver au même résultat à l'aide d'un artifice infiniment plus simple et qui a l'avantage de n'exiger aucun verre additionnel : l'artifice consiste à écarter d'une petite quantité les deux verres qui composent l'objectif; on voit, en effet, en comparant sur les *fig.* 1, 2 et 3 la répartition du foyer des diverses couleurs, que l'achromatisme optique est un achromatisme chimique *dépassé*, en ce sens que la lentille divergente a allongé la distance focale des rayons indigo plus qu'il ne faudrait pour en maintenir le foyer au voisinage du minimum ; la lentille agit donc d'une manière trop énergique.

On conçoit alors que, pour en diminuer l'influence, il suffise de l'interposer moins près de l'origine des faisceaux convergents à leur sortie du flint : c'est précisément ce qu'on réalise par l'écartement progressif de deux verres, qu'on poursuit jusqu'à ce que la distance focale de l'indigo soit minimum. On constate, à mesure que l'écartement augmente, une amélioration progressive de la finesse des images; on s'arrête lorsque le maximum de perfection est atteint, car, au delà d'un certain écartement (voisin de 1 pour 100 de la distance focale principale), la perfection des images s'altère de nouveau. Dans ces essais méthodiques, on se guide sur la différence de position de l'image optique et de l'image photographique ; on reconnaît, conformément aux figures ci-dessus, qu'on approche du maximum de perfection lorsque le foyer chimique, d'abord en arrière du foyer optique, l'atteint peu à peu, et finit par passer en avant.

Cette transformation de l'achromatisme des rayons visibles en achromatisme chimique a été employée dans diverses occasions que nous citerons bientôt : elle n'offre que des avantages au point de vue de la facilité des observations des deux genres; elle a toutefois un petit inconvénient qui empêche de l'appliquer aussi souvent qu'il serait utile de le faire dans les Observatoires : l'écartement utile du verre entraîne une diminution notable de la distance focale (environ 7 à 8 pour 100) que la construction antérieure des corps de lunette n'a pas toujours prévu.

J'ai insisté un peu longuement, Messieurs, sur cette question si intéressante de l'achromatisme des objectifs, bien qu'il existe un autre type d'instrument qui donne des images focales rigoureusement achromatiques : ce sont les miroirs concaves ou miroirs de télescope; mais cette perfection théorique est contrebalancée par un inconvénient pratique qui rend très difficile l'emploi des miroirs pour les images photographiques, particulièrement dans le cas des longues durées d'exposition : cet inconvénient est la déformation accidentelle du miroir, qui, altérant la forme de la surface réfléchissante, modifie la distance focale et la perfection des images. Aussi, bien que des observateurs habiles aient obtenu des épreuves admirables au moyen des miroirs, la grande majorité des astronomes s'est déclarée en faveur des objectifs pour les études courantes de Photographie astronomique, en particulier pour la Carte du ciel.

J'ajouterai encore quelques mots pour terminer ces préliminaires un peu pénibles, mais nécessaires pour bien comprendre les conditions à remplir. On démontre, en Optique, que l'intensité d'une image, au foyer d'un objectif, est proportionnelle à la surface libre de l'objectif, et en raison inverse du carré de la distance focale, ou, en d'autres termes, proportionnelle au carré de l'angle sous lequel un point de la plaque sensible voit le diamètre de l'objectif. Donc, quand nous aurons un objet très lumineux, nous pourrons réduire cet angle à être très petit. Par exemple, on peut photographier le Soleil avec un très petit objectif à très long foyer. Si, au contraire, on veut photographier un astre extrêmement petit, il faut prendre une ouverture d'objectif considérable : on est vite arrêté dans cette voie, car, lorsqu'on emploie des lentilles d'ouverture angulaire trop grande, on arrive à des aberrations de sphéricité ou à des distorsions, en un mot à des altérations de l'image focale : on est donc forcé de rester dans des limites assez étroites : on ne peut guère dépasser une ouverture égale à $\frac{1}{12}$, c'est-à-dire « le *pied* pour *pouce* », suivant la règle des opticiens, autant de pieds de distance focale que de pouces de diamètre de l'objectif.

II. — Photographie du Soleil, de la Lune et des planètes.

Passons maintenant rapidement en revue les progrès successifs de l'application de la Photographie aux mesures astronomiques de précision.

C'est par le Soleil, à cause de son énorme intensité, qu'on a commencé. La première couche impressionnable appliquée aux observations solaires est la couche d'iodure d'argent, de Daguerre. Vous connaissez tous ce procédé : aussi ne vous le décrirai-je pas. La plaque iodée, peu sensible pour le portrait, était au contraire trop facilement impressionnable quand il s'agissait d'une épreuve solaire ; il y avait donc une véritable méthode d'observation à imaginer pour utiliser cet agent nouveau.

C'est dès 1845, c'est-à-dire six ans après la divulgation de la découverte de Daguerre par Arago, que MM. Fizeau et Foucault, sur les conseils d'Arago (qui, dans un lumineux rapport, avait déjà fait pressentir les services que la Photographie était appelée à rendre à l'Astronomie), ont obtenu la première image du Soleil : non pas une empreinte vague que tout le monde pouvait produire et sans aucune valeur, mais une véritable image astronomique présentant toutes particularités intéressantes de la surface solaire : taches, facules, apparence sphérique bien marquée, etc...

Voici une de ces plaques, que m'a gracieusement prêtée M. Fizeau ; c'est la seule peut-être qui existe remontant à une date aussi éloignée. Elle a été obtenue de manière à donner une image de $0^{m},08$ au Soleil avec un objectif de 10^{m} de foyer, et recevant le faisceau d'un héliostat, avec un écran mobile interrupteur.

Après Daguerre, c'est à M. Fizeau que l'on doit les plus grands perfectionnements dans les procédés photographiques ; car c'est lui qui a découvert la première substance accélératrice, à savoir la vapeur de brome. De plus, il a trouvé la manière de rendre absolument fixe cette image daguerrienne si fugitive, que le moindre attouchement pouvait détruire, en

dorant l'épreuve par l'action d'un sel d'or, l'hyposulfite double d'or et de soude, composé isolé depuis lors par Fordos et Gélis.

Ces études sont restées à l'état d'essai pendant un certain nombre d'années, et il faut aller jusqu'au delà de 1850 pour trouver une observation régulière du Soleil, non plus par des dessins sur papier blanc, d'après une projection comme le faisait Carrington et le P. Secchi, mais par la Photographie. C'est à Warren de la Rue que l'on doit la création de l'héliographe pour l'étude méthodique des taches solaires, vers 1851. Le photo-héliographe est un appareil assez simple, qui a l'avantage, non pas d'être le plus correct (la précision n'ayant pas besoin d'être d'extrême, vu le caractère nébuleux et irrégulier des taches), mais d'être le plus commode des instruments à employer pour les observations courantes de Physique solaire.

L'appareil de MM. Fizeau et Foucault était un instrument très précis, se composant d'un objectif et d'une plaque sensible située au foyer même de l'objectif. Mais cette distance focale de 10m était un obstacle pour avoir un appareil pratique. Cet appareil présentait encore un inconvénient : il lui fallait un héliostat, c'est-à-dire un miroir dirigeant le faisceau solaire dans l'axe de la lunette.

L'héliographe de Warren de la Rue a l'avantage, avec une petite longueur et sans héliostat, de donner une grande image.

Le principe de l'instrument remonte à Galilée. L'illustre physicien avait remarqué que, si l'on dirigeait une lunette vers le Soleil, il suffisait de retirer très légèrement l'oculaire pour obtenir, en arrière, sur un papier blanc, l'image du Soleil avec une très grande dimension et une très grande netteté. Voici d'anciennes gravures du XVIIe siècle montrant des observateurs prenant des mesures avec un compas et l'ombre d'un fil à plomb sur l'image amplifiée d'une lunette de Galilée.

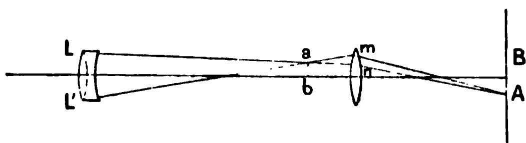
L'héliographe est donc composé d'un objectif d'environ 1m de distance focale : l'image réelle produite au foyer est reçue sur une sorte d'oculaire à deux verres, lequel reprend les rayons divergents de cette image et les fait converger à nouveau de manière à donner une image amplifiée qu'on reçoit sur la plaque sensible. Pour obtenir une durée d'exposition

suffisamment courte, une lame métallique percée d'une fente, mue par un ressort, se déclenche dans le plan de la première image à la volonté de l'observateur.

Ces grandes images offrent de grands avantages et de graves inconvénients; je vous demanderai la permission de m'arrêter quelques instants à les décrire. Les avantages résident dans la grandeur et la perfection apparentes de l'image amplifiée : la mise au point, en effet, présente une grande tolérance à cause de la faible ouverture des faisceaux angulaires, laquelle est en raison même du grossissement; l'achromatisme rigoureux n'est donc pas nécessaire : aussi les images photographiques sont-elles faciles à obtenir, et les imperfections dues à la mise au point ne dépassent jamais celles dues au grain de la couche sensible.

L'inconvénient grave de ces amplifications par l'oculaire est

Fig. 4.



Comparaison de l'image directe et de l'image amplifiée.

la distorsion inévitable des images amplifiées : un coup d'œil jeté sur la *fig.* 4 montre la grande différence qui existe entre l'image directe *ab*, formée directement au foyer d'un objectif et celle qui a été reprise et amplifiée en AB par un système oculaire réduit ici à un seul verre *mn*.

Chaque point *a* de l'image directe est formé par le concours de toute la surface de l'objectif LL' : il en résulte que tous les points de cette image sont produits dans des conditions identiques : dès lors, même avec un objectif imparfait, si les images manquent de finesse, du moins ne présentent-elles aucune altération systématique tant qu'on reste au voisinage de l'axe principal.

Au contraire, chaque point A de l'image amplifiée est produit par un pinceau particulier *amn*A. On n'utilise donc pour

chaque point qu'une petite portion *mn* de l'oculaire amplificateur, variable avec le point considéré. D'où il résulte que chaque inégalité dans la taille du verre *mn* entraîne une erreur systématique dans la position du point focal correspondant, bien que la finesse du détail puisse ne pas être altérée.

L'amplification des images convient donc très bien lorsqu'on veut une peinture à grande échelle d'un phénomène brillant; mais elle est à rejeter dans le cas où l'on doit exécuter des mesures de haute précision sur des images qui doivent, avant tout, être affranchies de toute altération systématique.

J'ai l'honneur de faire passer sous vos yeux une série de magnifiques épreuves de la surface solaire, obtenues avec des héliographes à Greenwich, à Meudon; elles m'ont été confiées les unes par M. Christie, astronome royal, les autres, par M. Janssen; je prie ces savants et habiles directeurs d'agréer ici l'expression de mes remerciements.

L'un des phénomènes les plus importants que présente le Soleil, c'est celui des éclipses, non seulement au point de vue du phénomène physique, mais aussi et surtout au point de vue de la Mécanique céleste pour le perfectionnement des Tables de la Lune. La Lune, vous le savez, permet aux marins et aux voyageurs de déterminer la longitude du lieu où ils se trouvent: les observations lunaires cessent évidemment au moment de la Nouvelle Lune, sauf dans les cas très rares des éclipses, où l'on peut alors déterminer avec une grande précision la position de notre satellite.

L'observation photographique des éclipses de Soleil s'imposait donc aussi bien au point de vue de la Physique solaire que de la Mécanique céleste; les astronomes n'ont pas manqué de faire appel à ce nouveau mode d'observation dès qu'il est devenu praticable pour eux.

La première expédition qui ait été faite pour observer une éclipse de Soleil fut celle du 18 juillet 1860. C'était l'époque du grand progrès de la Photographie par la découverte du collodion sensible. Les plus illustres physiciens et astronomes prirent part à cette expédition. En Espagne, s'étaient donné rendez-vous: pour la France, Le Verrier et Foucault; pour

l'Angleterre, Warren de la Rue, qui s'était spécialement installé pour photographier les phases du phénomène, surtout en ce qui touchait l'étude des protubérances. Le P. Secchi s'était placé à la station du Desierto de Las Palmas, où Arago et Biot avaient fait naguère leurs observations géodésiques. Enfin, à Batna, en Algérie, le ministre de la guerre avait envoyé une expédition composée de plusieurs membres du corps enseignant de l'École Polytechnique, et commandée par le capitaine Laussedat, aujourd'hui colonel et directeur du Conservatoire des Arts et Métiers. Au point de vue de la Physique solaire les résultats furent des plus intéressants : les fameuses protubérances, dont l'existence avait été contestée ou attribuée à des volcans lunaires, furent photographiées et la belle épreuve de Warren de la Rue, dont j'ai l'honneur de projeter devant vous une copie, en est une preuve devenue classique.

Au point de vue des observations astronomiques de précision, le colonel Laussedat, qui avait disposé ses appareils de manière à obtenir des mesures absolues par la Photographie, montra d'une manière décisive que la Photographie était capable de donner toute l'exactitude requise pour la correction des Tables de la Lune. Voici d'ailleurs en projection la série des phases du phénomène observé à Batna, obtenue avec le concours de M. Aimé Girard, aujourd'hui professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, et connu déjà à cette époque par ses belles recherches de Chimie photographique.

Voici d'ailleurs l'appareil même du colonel Laussedat : c'est un héliographe horizontal qui reçoit les rayons solaires par réflexion sur le miroir d'un héliostat; mais (et c'est le point capital au point de vue de la précision des mesures) la lunette de l'héliographe peut, lorsque l'héliostat est enlevé, pointer sur une lunette méridienne qui fournit les coordonnées absolues de l'axe optique de la lunette photographique, et permet de corriger l'influence des petites déviations du miroir de l'héliostat.

Les expéditions les plus importantes qui aient été faites, tant pour l'intérêt astronomique que pour le rôle considérable qu'y joua la Photographie, furent celles relatives aux passages de Vénus sur le Soleil les 9 décembre 1874 et 6 décembre 1882.

Il est juste de dire que, dès 1849, M. Faye, le doyen des astronomes français, avait proposé d'employer la Photographie pour la plupart des observations de précision du Soleil et, particulièrement, pour les observations du passage de Vénus, afin de les débarrasser de toute intervention de l'observateur : les essais qu'il avait faits, dès 1858, avec Porro, avaient confirmé les prévisions du savant astronome.

Quelques mots, d'abord, sur les passages de Vénus : vous savez qu'ils sont extrêmement rares : ils n'arrivent que deux fois par siècle, et encore pas dans tous les siècles. C'est ainsi que le xxe siècle ne verra pas de passage de Vénus sur le Soleil.

Cette observation si rare est très importante, parce qu'elle fournit la distance du Soleil à la Terre par une méthode entièrement géométrique et indépendante de la construction et de la précision des Tables astronomiques de ces deux astres.

Dans tous les pays, on a organisé des expéditions permettant de faire des observations où la Photographie a joué un très grand rôle. Je n'ai besoin de vous donner que l'appareil photographique de l'expédition française de 1874, les autres nations ayant adopté l'héliographe anglais. Voici d'abord l'un des appareils originaux, que nous avons reconstitué : c'est celui de la station de Nouméa ; il rappelle, comme disposition générale, l'appareil du colonel Laussedat avec un miroir et une lunette azimutale, dirigeable sur l'axe de la lunette photographique ; il en diffère par des perfectionnements importants ; il s'agissait, en effet, d'obtenir avec les images des mesures de la plus haute précision ; on y est parvenu de la manière suivante :

Pour éviter la distorsion, on a supprimé l'oculaire amplificateur : la longueur de la distance focale (voisine de 4^{m}) fournissait une image solaire suffisante (0^{m},038 de diamètre).

On a obtenu la perfection optique des images, en employant le procédé d'achromatisme par séparation des verres de l'objectif, reconnu préalablement très parfait pour les images visibles.

Un troisième perfectionnement a consisté à mettre l'écran obturateur au foyer même, à une très petite distance en avant

de la plaque impressionnable. Cette disposition permet de conserver toute la puissance optique de l'objectif et d'éliminer l'influence du mouvement diurne par une orientation convenable de la fente de l'obturateur.

Enfin, pour éviter les ondulations des images causées par l'air chaud enfermé dans le tube de la lunette, un ventilateur énergique fonctionnait avant chaque observation et donnait à l'air intérieur une homogénéité très complète de température sur le trajet du rayon lumineux.

J'ajouterai que l'un des perfectionnements, et non le moins important, était l'emploi, par M. Fizeau, du procédé de Daguerre pour l'obtention des images : au point de vue de la précision, rien ne vaut, en effet, la surface d'un métal comme réceptacle de l'image; il n'y a à craindre ni le boursouflement, ni le retrait de la couche sensible lors du développement par voie humide ou de la dessiccation; de plus, la finesse du daguerréotype, procédé un peu dédaigné parce qu'on ne le pratique plus, est merveilleuse lorsqu'on prend les précautions nécessaires. Or, de ce côté, l'expédition française avait un maître incomparable, M. Fizeau, qui avait apporté à la Commission le concours de sa haute expérience tant pour le contrôle de l'appareil optique que pour le perfectionnement du procédé daguerrien.

Voici, du reste, la projection des diverses phases du passage de Vénus sur le Soleil : ce sont des épreuves originales choisies parmi les plus intéressantes. Vous pouvez juger de la netteté des contours du petit disque circulaire de la planète; cette belle projection est particulièrement difficile à obtenir avec l'épreuve daguerrienne, opaque et miroitante. Vous voyez avec quel succès M. Gustave Tresca, qui a bien voulu aider M. Molteni, a réussi à vaincre les difficultés.

Voici d'autres clichés originaux obtenus au collodion sec et qu'on peut projeter comme les épreuves ordinaires de démonstration.

Ce passage du 9 décembre 1874 a été observé par cinq stations formant autant de missions distinctes, mais munies d'appareils identiques, étudiés longuement avant le départ.

La mission de l'île Saint-Paul était dirigée par l'amiral

Mouchez; celle de Pékin, par le lieutenant de vaisseau Fleuriais; celle de l'île Campbell, dirigée par M. Bouquet de la Grye; celle du Japon par MM. Janssen et Tisserand, et enfin celle de la Nouvelle-Calédonie par MM. André et Angot.

[Le conférencier décrit en particulier la mission de l'île Saint-Paul et projette des épreuves relatives aux diverses installations, notamment la lunette photographique, le miroir et la lunette méridienne conjuguée.]

Sauf à l'île Campbell où le ciel a été nuageux, l'observation du passage de Vénus a été accomplie dans des conditions favorables; les épreuves daguerriennes ont été mesurées avec des machines micrométriques spéciales et ont fourni une valeur de la parallaxe solaire égale de 8",79; on peut même remarquer qu'au lieu des résultats discordants donnés par d'autres expéditions, le résultat photographique de la mission française a été l'un des premiers à montrer que la valeur 8",85, considérée jusque-là comme la plus probable, était au contraire trop forte.

Je ne dirai rien des expéditions françaises de 1882; le chiffre, plus faible que celui qu'on attendait, obtenu en 1874 pour la parallaxe solaire, avait, dans l'esprit de certains savants, jeté du discrédit sur la Photographie. On décida d'abord de ne plus faire d'observation photographique au prochain passage; mais on se ravisa au dernier moment et, abandonnant la voie de perfectionnements suivie jusque-là, on adopta le vieil héliographe employé partout. C'était un progrès à rebours, car l'appareil offre à peu près tous les défauts optiques qu'il eût fallu éviter : non-achromatisme, amplification, distorsion, etc., et l'on fit des épreuves sur gélatine. Il est vrai qu'on ajouta au foyer un réseau tracé sur verre pour corriger la distorsion optique et celle de la gélatine; mais la complication du procédé n'a rien de rassurant et n'est pas comparable à l'élégance de l'emploi des images directes sur plaque métallique.

Je passe rapidement sur les épreuves obtenues par la photographie de la Lune. En 1850, l'astronome américain Bond essayait l'expérience sur plaque daguerrienne, mais sans résultat appréciable; depuis, à mesure que les préparations sen-

sibles ont été perfectionnées, les progrès ont été croissants : les premières épreuves qui ont excité une véritable admiration sont celles de Warren de la Rue, puis de Rutherfurd.

Voici quelques épreuves plus récentes : d'abord une épreuve lunaire obtenue à l'Observatoire de Paris, en 1876, avec l'équatorial de la tour de l'Est rendu achromatique par l'écartement des verres ; puis une épreuve de la lumière cendrée, exécutée par M. Janssen à Meudon et une épreuve comparative de la Pleine Lune obtenue en une seconde pour la mesure relative des intensités. C'est, comme vous le voyez, une nouvelle application de la Photographie : la Photométrie astronomique.

A côté de l'étude photographique de la Lune se place celle des planètes, beaucoup plus difficile, à cause du peu de lumière ou de la délicatesse des détails. Comme curiosité, voici une épreuve de la planète Vénus obtenue au collodion humide, de jour, à 3 heures de l'après-midi, avec l'équatorial de la tour de l'Est de l'Observatoire de Paris. Vous voyez la forme en croissant, mais les détails manquent. Vous connaissez, en effet, ce dicton astronomique : « Il n'y a pas de mauvaise lunette pour la Lune, mais il n'y en a pas de bonne pour Vénus. » Avec le gélatinobromure on a pu aller beaucoup plus loin, témoin ces beaux clichés de Jupiter et de Saturne, obtenus par MM. Henry à l'Observatoire de Paris. Enfin, on a pu même photographier les pâles lueurs des comètes : celle que je vous présente a été obtenue au cap de Bonne-Espérance par M. Gill, astronome royal à l'Observatoire du Cap.

III. — Photographie des étoiles.

Nous arrivons, maintenant, à la Photographie la plus difficile, celle des étoiles. Le ciel stellaire a le privilège d'attirer la curiosité humaine ; on espère toujours découvrir quelque chose de nouveau dans ce monde mystérieux ; on veut toujours pénétrer plus loin dans ce monde qui ne nous apparaît, à première vue, que comme un amas de petits points lumineux, mais qui nous a révélé et doit nous révéler encore tant de secrets !

Dans ce domaine, on n'a pu réussir à obtenir des résultats utiles que par les nouveaux procédés photographiques. Dès 1850, pourtant, Bond était arrivé, aux États-Unis, à obtenir une épreuve daguerrienne de α de la Lyre et α des Gémeaux. Mais le manque de sensibilité des plaques et surtout l'insuffisance du mouvement d'horlogerie destiné à diriger la lunette sur le même point du ciel avaient fait abandonner ces essais.

En 1857, le même astronome américain, avec le collodion, est parvenu à obtenir le cliché d'une étoile double, ζ de la Grande Ourse, et à mesurer la distance et l'angle de position des deux composantes de cette étoile avec une précision égale à celle des meilleures observations visuelles. On vit, dès lors, tout l'intérêt de la question.

En 1879, M. Common, un astronome amateur anglais, qui a construit lui-même dans son observatoire à Ealin, près de Londres, de très beaux télescopes, réussit à photographier les étoiles de la constellation d'Orion jusqu'à la neuvième grandeur.

Mais les progrès décisifs ont été accomplis, en 1885, par MM. Henry à l'Observatoire de Paris. Ils étaient occupés, depuis un grand nombre d'années, à continuer la construction des cartes elliptiques de Chacornac jusqu'à la treizième grandeur : ce travail consiste, comme vous savez, à mesurer l'ascension droite, la déclinaison de chaque étoile, à en apprécier la grandeur, puis à reporter les observations sur un papier quadrillé que le graveur ensuite reproduit sur une planche de cuivre. Mais, arrivé au voisinage de la voie lactée, le travail était devenu presque impossible. Ils résolurent d'essayer la Photographie, et alors, perfectionnant les procédés de leurs devanciers, ils sont arrivés à des résultats qui ont excité un véritable enthousiasme.

Les étoiles sont relativement faciles à photographier, et voici pourquoi. Leur diamètre apparent est insensible ; il en résulte que leur éclat intrinsèque est énorme. C'est parce que notre pupille est extrêmement petite que nous attribuons aux étoiles un éclat faible ; pourtant cet éclat est au moins du même ordre que celui du Soleil. On démontre, en Physique, que l'éclat

intrinsèque de l'image focale d'une étoile est proportionnel au carré de la surface de l'objectif, parce que le diamètre réel est insensible; cette loi est beaucoup plus favorable que celle à laquelle nous sommes accoutumés dans la pratique des observations ordinaires avec des objets de diamètre apparent fixe. Dans ce cas, vous savez tous que les images focales ont une intensité proportionnelle surtout à la surface de l'objectif employé. De sorte qu'avec un objet visible, si nous voulons avoir quatre fois plus de lumière, nous prenons une ouverture deux fois plus grande. Avec une lunette astronomique ayant un objectif double, nous aurons pour les étoiles une concentration seize fois plus grande. Par conséquent, le problème de la photographie des étoiles est facilité beaucoup par cette condition tirée de la constitution de ces astres et de la nature de la lumière : on peut donc atteindre des grandeurs d'ordre extrêmement élevé.

L'instrument propre à photographier le ciel est composé d'un simple objectif achromatique ou achromatisé pour les rayons chimiques. MM. Henry, qui sont, en même temps que de savants astronomes, des opticiens fort habiles, sont arrivés à construire couramment des verres dont le foyer chimique réunit au même point le maximum de lumière. Le reste n'est plus qu'une question en quelque sorte géométrique. Il faut faire en sorte que ce petit point lumineux reste immobile, sur la plaque sensible, malgré le mouvement diurne de la voûte céleste. Il y a, pour cela, deux moyens : l'un purement mécanique qui consiste à produire le mouvement parallactique de la lunette en liant automatiquement le mouvement d'horlogerie à une horloge astronomique. L'instrument employé à Greenwich, notamment, construit par M. Grubb, de Dublin, est dans ce cas : les transmissions sont faites par le moyen de l'électricité.

Le second système est mixte : on ne cherche pas à obtenir un mécanisme d'horlogerie absolument parfait, on surveille le mouvement et on le rectifie : la lunette photographique est en effet liée à un pointeur. C'est une lunette jumelle de la première, fixée au même corps et qui offre à peu près la même puissance optique; il suffit alors de maintenir, sous le fil du

réticule, par un moyen de rectification très délicat, l'image de l'une des étoiles qu'on photographie. Voici l'appareil de MM. Henry à l'Observatoire de Paris; vous remarquerez la simplicité de l'appareil, surtout si on le compare à la multiplicité des pièces que présentent certains grands équatoriaux, comme celui de l'Observatoire de Lick (Californie).

La principale difficulté, pour obtenir des clichés utilisables, c'est de se mettre au point. Voici la méthode employée : on cherche méthodiquement (à l'aide d'une graduation faite sur le tube de tirage du porte-plaque) quelle est l'image rectiligne la plus fine que laisse la trace d'une étoile brillante (1re à 4e grandeur) lorsqu'on arrête le mouvement d'horlogerie. On arrive ainsi à resserrer entre quelques dixièmes de millimètre la position exacte du plan de plus grande netteté. Je ne dirai qu'un mot du mode de développement du cliché : tous les procédés indiqués réussissent; cependant l'oxalate de fer paraît donner la plus grande vigueur. Voici quelques exemples de clichés stellaires.

[Projection des Pléiades; de l'amas des Gémeaux; de l'amas de la Crèche; de l'amas de Prœsépé; de l'amas d'Hercule.]

Voici un autre type de cliché avec un quadrillage particulier. Ce quadrillage, provenant d'un réseau tracé sur glace argentée, sert à éliminer les distorsions que la gélatine pourrait subir.

J'appellerai également votre attention sur les clichés multiples où chaque étoile est reproduite deux ou trois fois à une très petite distance, de manière à former un groupe d'aspect reconnaissable par la forme. Ces groupements permettent de reconnaître les fausses images des vraies; elles permettraient aussi de signaler de petites planètes, parce que l'aspect du groupe serait tout à fait altéré.

Les beaux résultats obtenus par MM. Henry ont montré que l'étude méthodique du ciel au moyen de la Photographie, en un mot, la Carte photographique du ciel, devenait possible et avantageuse.

L'initiative de ce grand travail a été prise par M. l'amiral Mouchez, qui a convoqué, sous le patronage de l'Académie

des Sciences en 1887, un congrès international, pour décider qu'on entreprendrait de concert, dans tous les pays, la Carte du ciel. Les astronomes les plus illustres ont répondu à l'appel et ont étudié le programme de cette œuvre d'un si grand intérêt pour les progrès ultérieurs de l'Astronomie stellaire; après discussion, on s'est mis d'accord sur la nature et les dimensions de l'instrument à adopter. C'est la lunette photographique de MM. Henry, achromatisée pour les rayons chimiques de $0^m,32$ d'ouverture et de $3^m,40$ de distance focale, qui a réuni tous les suffrages. Actuellement près de vingt Observatoires, répartis sur toute la surface du globe, possèdent leurs appareils et commencent à photographier les zones qui leur ont été attribuées.

Dans l'accomplissement de ces grands travaux, il est juste de mentionner les collaborateurs de MM. Henry : en effet, il fallait, pour construire ces grands objectifs photographiques, obtenir des verres d'une pureté irréprochable : c'est la maison Feil, dirigée par son habile successeur, M. Mantois, qui s'est chargée de cette tâche difficile : elle réussit si bien qu'elle a, en quelque sorte, acquis pour le monde entier le monopole des verres d'Optique astronomique.

La construction de ces lunettes photographiques offrait d'autre part des problèmes difficiles: il s'agit, en effet, de réunir sur le même instrument, d'abord une stabilité parfaite et ensuite les moyens délicats de rectification nécessaires pour suivre dans le pointeur l'étoile de repère avec la plus grande précision. C'est à M. Gautier, dont l'habileté est bien connue dans les genres les plus variés, qu'on doit d'avoir réussi à remplir toutes ces conditions : il a été chargé de construire près de la moitié des appareils employés actuellement à la confection de la Carte du ciel.

Une émulation féconde a d'ailleurs permis à d'autres constructeurs de mettre en évidence leur ingéniosité et leur intelligence. Je mets sous vos yeux la lunette photographique de Greenwich avec sa rectification automatique au moyen de l'électricité, et celle de l'Observatoire du Cap, construites par M. Grubb, de Dublin.

Je vous ai dit que les télescopes à miroir avaient été écartés

pour la construction de la Carte du ciel : je crois utile de vous montrer par quelques clichés quels beaux résultats ils donnent entre des mains habiles : les précieux clichés que j'ai l'honneur de vous proposer m'ont été donnés par M. Common, à qui j'offre ici le témoignage d'une admiration que vous allez partager.

Voici d'abord une magnifique épreuve des Pléiades; puis une succession instructive des progrès faits dans l'observation de la nébuleuse d'Orion; d'abord la reproduction d'un dessin exécuté en 1840 par Bond; il a passé longtemps pour une image parfaite de cette nébuleuse. Voyez maintenant combien l'épreuve photographique obtenue avec un miroir de trois pieds de diamètre lui est supérieure; quant à celle obtenue récemment par M. Common avec son nouveau miroir de cinq pieds, c'est une véritable merveille!

Nos lunettes photographiques de la Carte du ciel ne sont d'ailleurs pas si inférieures, comme vous pouvez en juger par cette épreuve de la même nébuleuse et celle de la nébuleuse de la Lyre obtenues à Toulouse par MM. Andoyer et Montaugeron.

A propos de la Photographie des nébuleuses, je mentionnerai rapidement un effet secondaire qui certainement trouble les images dans les longues durées de pose : c'est le phénomène bien connu du *halo*, qui se produit quand on photographie un rayon lumineux très intense : on le voit aisément sur ces clichés de l'image d'une lampe, d'une lumière électrique, d'un coucher de soleil, etc. Mais vous savez qu'en prenant la précaution d'enduire le revers de la plaque d'un vernis noir de même indice que le verre, le halo disparaît complètement.

Tous les phénomènes que je viens de décrire ont, au point de vue de l'Astronomie physique, un intérêt considérable; mais, au point de vue de l'Astronomie de précision, on attend, de la Carte du ciel, des résultats importants. D'abord, nous pourrons désormais laisser à nos successeurs une image complète et fidèle du ciel à notre époque, ce qui facilitera singulièrement les recherches ultérieures. Vous savez qu'on a vu des étoiles paraître et disparaître sans laisser de trace, comme celle de Tycho-Brahé, qui a apparu subitement en 1572 dans

Cassiopée, et qui s'est éteinte peu à peu. Si l'on en avait conservé une image fidèle au milieu de cette constellation, on aurait pu la rechercher dans le ciel et reconnaître si elle est réellement perdue. Depuis, le même phénomène s'est représenté plusieurs fois.

Certaines étoiles offrent des variations d'éclat à grandes périodes, comme η Argo, dont la période est voisine de 70 ans. Des clichés donneront les renseignements les plus précis sur ces variations de grandeur.

La recherche et l'étude des petites planètes (dont le nombre dépasse aujourd'hui 300) seront singulièrement facilitées par la Photographie. En voici un exemple : MM. Henry ont montré qu'on avait tout avantage à faire, sur le même cliché, deux ou trois épreuves contiguës des mêmes étoiles (particulièrement en triangle équilatéral), de façon à éliminer toutes les fausses images. Si l'on avait le bonheur de tomber sur une planète d'éclat suffisant, les trois impressions successives n'auraient ni la forme, ni la disposition en triangle équilatéral ; ainsi on pourra reconnaître immédiatement la présence d'une planète transneptunienne, car Neptune, sur les clichés stellaires, donne déjà naissance à une déformation très notable du petit triangle ci-dessus, condition tout à fait caractéristique du mouvement planétaire.

Enfin, en étudiant avec soin les clichés, on pourra, dans le courant de l'année, mettre en évidence les déplacements relatifs d'étoiles, et alors, non seulement mesurer le mouvement propre des étoiles, mais même déterminer leur parallaxe annuelle, c'est-à-dire le déplacement apparent que le mouvement orbital de l'observateur terrestre produit sur l'étoile (perspective de l'orbite terrestre sur le ciel). Vous savez que ces observations fournissent la distance des étoiles au système solaire. Tout à l'heure je vous parlais de la détermination de la distance de la Terre au Soleil comme d'un problème admirable ; les études stellaires conduisent à des problèmes autrement grandioses, car ici la distance du Soleil à la Terre se multiplie par le chiffre de 200 000..., un million..., et bien davantage encore !

Enfin, on arrivera à préciser cette admirable découverte de

W. Herschel, à savoir que ces petits mouvements propres, observés depuis de longues années, ne sont pas distribués au hasard; que beaucoup d'entre eux offrent des directions convergentes vers un même point du ciel : c'est la preuve que notre système solaire se déplace lui-même dans l'espace, en se dirigeant, avec une vitesse de deux ou trois fois le rayon de l'orbite terrestre par an, vers un point situé dans la constellation d'Hercule.

Vous voyez, Messieurs, les immenses progrès promis ou déjà réalisés dans la Science à l'aide de la Photographie; il suffira de rappeler en terminant ce qu'elle a apporté dans la méthode de *mesure des grandeurs*. Elle a d'abord, à la surface de la Terre, perfectionné les mesures topographiques, comme le prouvent les travaux des officiers du génie et de M. le colonel Laussedat à leur tête. On lui a demandé ensuite la distance de la Terre au Soleil, par l'observation du passage de Vénus : elle l'a donnée avec autant de précision que les anciennes méthodes; voilà que, maintenant, on attend d'elle la mesure de la distance du système solaire aux étoiles.

Vous jugez, par cet aperçu rapide, combien est vaste et grandiose le champ ouvert aux progrès de la Photographie, simplement dans le domaine de l'Astronomie de précision, sans parler de ceux dont nos illustres collègues vous ont déjà entretenus.

En réclamant, devant l'opinion publique, la création d'une chaire de Photographie au Conservatoire des Arts et Métiers, l'éminent directeur de cet Établissement, M. le colonel Laussedat, est donc bien dans la voie des innovations fécondes. Mieux que personne il connaît le grand rôle de la Photographie dans la Science, car il en a donné des preuves personnelles dans des directions bien diverses. J'ai tout lieu de croire, à en juger par la bienveillante attention avec laquelle vous m'avez écouté, que vous vous joindrez à lui et à nous pour applaudir à ses efforts et appuyer ses instances.

LA

CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE,

CONFÉRENCE DU 10 JANVIER 1892

Par M. C. FABRE,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Toulouse.

MESDAMES, MESSIEURS,

Je me propose de vous parler aujourd'hui de la Chimie photographique, c'est-à-dire des phénomènes qui s'accomplissent lorsque nous cherchons à obtenir une image par l'action de la lumière : la connaissance de ces faits peut être considérée comme la base même de la Photographie.

Toute source lumineuse envoie des ondes dont le mode de propagation ainsi que les phénomènes physiques qui les accompagnent vous ont été magistralement exposés dans les dernières conférences; il est donc inutile d'y revenir. Je me bornerai à vous rappeler certains principes généraux qui doivent nous servir de guide dans cette étude.

Lorsque les radiations lumineuses frappent un corps, elles modifient le mouvement vibratoire des molécules de ce corps, et l'ébranlement ainsi communiqué peut en changer la structure physique. C'est ainsi que le phosphore blanc exposé à la lumière devient phosphore rouge; le sélénium voit sa résistance au passage du courant modifiée. Si au lieu d'agir sur un corps simple, les radiations frappent une substance composée, elles peuvent altérer, comme nous le verrons, sa consti-

tution chimique. La force vive d'une radiation est partiellement absorbée par son passage au travers d'un corps : il y a production d'un travail mécanique équivalent à l'énergie perdue par cette radiation. Nous admettrons que c'est le travail mécanique produit dans un corps par les radiations qui détermine les réactions utilisées en Photographie.

Ces réactions peuvent être produites à l'aide de sources lumineuses de natures très diverses, telles que la lumière solaire, la lumière oxyhydrique, la lumière électrique, si bien installée au Conservatoire par M. Tresca, enfin très souvent à l'aide de la lumière provenant de la combustion du magnésium, soit seul, soit mélangé de substances oxydantes comme le chlorate de potasse; nous allons vous montrer l'intensité lumineuse très remarquable que l'on peut obtenir par ce dernier procédé.

Toute réaction chimique est accompagnée d'un phénomène calorifique : c'est ainsi qu'en projetant un peu d'acide sulfurique sur un mélange de résine et de chlorate de potasse, nous voyons la température s'élever jusqu'à l'incandescence du mélange. Dans ce cas, comme toutes les fois qu'il y a dégagement de chaleur, la réaction est dite *exothermique;* s'il y a absorption de chaleur, elle est dite *endothermique :* mais alors, si le phénomène est produit par la lumière, les radiations doivent fournir une certaine quantité d'énergie pour que le phénomène se produise. Dans une réaction exothermique, au contraire, les radiations n'ont d'autre effet que de provoquer le commencement du phénomène qui se poursuit grâce à l'énergie développée. Mon illustre maître, M. Berthelot, a comparé ce rôle des radiations à celui d'une allumette qui servirait à incendier un bûcher. Les réactions photochimiques étant presque toujours exothermiques, on peut dire que les ondes lumineuses jouent le rôle d'agent excitateur.

Cette action de la lumière se manifeste de deux manières essentiellement distinctes : dans certains cas, la lumière ne paraît pas avoir produit d'effet, mais le travail effectué par les radiations peut être *révélé* en faisant subir au composé des traitements chimiques spéciaux. On dit alors que la lumière a agi d'une manière latente, qu'elle a formé une *image latente.*

Dans d'autres cas, les radiations lumineuses produisent un effet immédiatement visible qui consiste en un changement de couleur du composé; mais alors l'exposition à la lumière doit être, le plus souvent, prolongée : la durée du *temps de pose* doit être plus grande que s'il s'agissait d'obtenir une image latente.

Nous retrouvons cette image latente dans presque tous les procédés de Photographie et nous allons étudier comment, à l'aide de réactions chimiques assez simples, on peut utiliser cette image : examinons les divers procédés par ordre d'ancienneté.

Le daguerréotype n'est plus pratiqué aujourd'hui. Dans ce procédé, une lame de plaqué d'argent est exposée aux vapeurs de l'iode, vapeurs qui agissent sur la face argentée : il se forme de l'iodure d'argent. On expose cette plaque dans la chambre noire; l'image latente ainsi obtenue est révélée à l'aide des vapeurs de mercure. Ces vapeurs se trouvent au contact de la couche sensible dans toute son étendue, mais ne se fixent que sur les parties modifiées par la lumière, qui, elles seules, possèdent l'énergie potentielle suffisante pour attirer les vapeurs métalliques.

D'autres vapeurs peuvent faire apparaître l'image : Meldola a montré que la vapeur d'eau jouit de cette propriété. L'image disparaît rapidement à cause de l'évaporation du liquide condensé. Dès 1842, Moser avait constaté que, si l'on expose à la vapeur d'eau une plaque d'argent poli dont certaines parties ont été insolées, la vapeur se fixe seulement sur les parties frappées par la lumière. Dans les deux cas, les parties de la plaque restées dans l'obscurité conservent leur bruni parfait et ne retiennent pas les vapeurs : ici le révélateur est un type de *révélateur physique;* la vapeur se dépose sur la couche sensible : l'image est en quelque sorte bâtie à la surface de la couche; elle se trouve en relief.

Ces révélateurs physiques étaient autrefois fort employés : c'est à eux qu'on avait recours dans le procédé au collodion humide. Une glace bien nettoyée est recouverte de collodion ioduré; lorsque l'éther et l'alcool se sont évaporés, la plaque est immergée dans une solution d'azotate d'argent; les iodures

et bromures que renferme la pellicule formée à la surface du verre se transforment en iodure et bromure d'argent. Ces opérations sont faites dans l'obscurité; la couche sensible est exposée aux radiations transmises par l'objectif photographique et, au sortir de la chambre noire, on obtient une image latente. Pour la révéler, on a recours aux révélateurs physiques. On se sert de dissolutions métalliques capables d'abandonner facilement leur métal.

Prenons par exemple une solution d'azotate d'argent et une solution de sulfate de fer; en les mélangeant, l'argent métallique se précipite au sein même du liquide. Si nous ajoutons à cette liqueur un acide tel que l'acide acétique, l'action se produit plus lentement. C'est un fait bien démontré par l'expérience que dans les dissolutions acides la précipitation de l'argent s'effectue lentement. Lorsque cette dissolution est employée pour développer, le dépôt d'argent métallique se fait de préférence sur les molécules dont l'énergie potentielle est plus grande, c'est-à-dire sur les parties qui ont absorbé les radiations. Ainsi, dans le cas d'une plaque préparée par le procédé du collodion humide, comme la couche contient du nitrate d'argent libre, il suffira, pour constituer le révélateur, de verser à la surface de la plaque une dissolution de sulfate de fer ou d'acide pyrogallique acidifiée par l'acide acétique.

Si l'on emploie une plaque préparée par les procédés du collodion sec, du papier ciré, c'est-à-dire une couche de sel d'argent lavée à l'eau distillée au sortir du bain de nitrate d'argent, puis séchée dans l'obscurité, on est obligé d'ajouter au révélateur quelques gouttes d'une dissolution d'azotate d'argent.

Comment la Chimie nous permet-elle d'expliquer l'action de ce révélateur physique? Admettons provisoirement que la substance sensible modifiée renferme de l'argent métallique. Chaque molécule d'argent de l'image latente constitue un noyau autour duquel viennent se grouper les molécules d'argent du révélateur. Cette explication est acceptable comme le prouve l'expérience suivante, due à Lermantoff. A l'aide d'une lame d'argent ou d'une matière conductrice de l'électricité, traçons quelques traits sur une plaque de verre bien propre,

et plongeons cette plaque dans le révélateur consistant en une solution de sulfate de fer additionnée de nitrate d'argent. Les parties de la plaque qui ont été touchées par la lame métallique se recouvrent d'un dépôt d'argent assez adhérent. C'est d'après le même principe que s'effectue le renforcement des images obtenues sur couche de collodion humide, comme vous pouvez le constater d'après l'expérience qui a lieu sous vos yeux. Un négatif trop faible peut être renforcé en versant à la surface de la couche un mélange d'acide pyrogallique et de nitrate d'argent.

On a aussi comparé ce phénomène du renforcement de l'image à celui de la cristallisation dans certaines dissolutions salines : par exemple en plongeant une lame de zinc dans une solution d'acétate de plomb, on voit des lamelles de ce dernier métal se déposer sur le zinc; le dépôt augmente peu à peu et constitue ce que les anciens chimistes appelaient l'arbre de Saturne. On peut aussi faire cette expérience en se servant d'une dissolution d'azotate d'argent et de mercure métallique : on obtient ainsi de belles arborescences qui constituent l'arbre de Diane.

Si l'hypothèse que nous émettons est exacte, si les molécules d'argent circulent réellement dans le révélateur, en augmentant la viscosité du liquide nous opposerons une certaine résistance à leur déplacement et nous pourrons ainsi allonger la durée du développement. C'est bien là ce que l'expérience a prouvé : en ajoutant au révélateur des substances colloïdes, telles que le sucre, la gélatine, le miel, l'albumine, le développement nécessite un temps relativement long, et les images sont brillantes, c'est-à-dire dépourvues de ce voile qui s'est constitué par un léger dépôt d'argent réduit en dehors de l'action de la lumière.

Il faut aussi tenir compte de la décomposition électro-chimique de l'azotate d'argent que contient le révélateur : l'argent primitivement déposé sur l'image joue le rôle de métal électro-négatif et le sulfate de fer constitue le liquide excitateur. Le courant électrique produit décompose l'azotate d'argent du révélateur; le métal se précipite sur l'image en voie de formation. Lermantoff l'a prouvé de la manière suivante : il prend

une cuve de verre partagée en deux parties par une cloison de papier : dans l'un des compartiments il verse une solution d'azotate d'argent, dans l'autre une solution de sulfate ferreux; une lame d'argent est introduite dans la cuve de manière que chacune de ses extrémités plonge dans un compartiment : il constate alors que l'extrémité de la lame d'argent plongeant dans le compartiment où se trouve la solution de sulfate de fer est attaquée. Un courant électrique est produit, la solution d'azotate d'argent du compartiment voisin est décomposée, et l'on observe que le métal se dépose sur l'extrémité de la lame qui plonge dans ce compartiment. Il semble donc que la précipitation du métal se fasse sous l'influence de l'électricité comme dans les dépôts galvanoplastiques.

Pour expliquer l'action du révélateur, il n'est d'ailleurs pas nécessaire de supposer que l'image latente est formée d'argent métallique, de sous-iodure ou sous-bromure d'argent. Nous savons en effet que des actions purement chimiques sont capables de provoquer la formation d'un précipité plus ou moins adhérent aux parois du vase qui renferme la liqueur : c'est ce qui se produit lorsqu'un phosphate soluble est précipité à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. C'est ainsi que les partisans de la théorie dynamique de la formation des images expliquent l'action de la lumière. Les ondes lumineuses, avant de décomposer la substance sensible, produisent un bouleversement de ses molécules, l'amenant ainsi à un état nouveau sous lequel elle serait facilement décomposable par les révélateurs. En somme, après l'action de la lumière, la substance sensible serait sous un état moléculaire nouveau, plus ou moins comparable à celui dans lequel se trouve le phosphore rouge dont je vous parlais tout à l'heure et qui présente la même composition que le phosphore blanc.

Le mode d'action des révélateurs *chimiques* est tout différent : nous entendons par révélateurs chimiques ceux qui, comme l'acide pyrogallique et l'ammoniaque, l'iconogène, le paramidophénol, l'hydroquinone, sont constitués par des substances réductrices, capables de décomposer les sels haloïdes d'argent. Les solutions préparées avec ces substances peuvent révéler l'image parce que les molécules du révélateur sont

attirées par les molécules sensibles modifiées par la lumière, et la décomposition du bromure d'argent, par exemple, s'effectue tout d'abord dans les parties de la couche frappées par les radiations lumineuses. Il faut cependant que certaines conditions se trouvent remplies pour que l'on puisse employer comme révélateurs ces substances réductrices : la couche sensible doit renfermer assez de composé argentique pour qu'elle puisse former une image sans le secours d'un apport étranger, car le dépôt qui constitue les noirs est dû à l'argent de la couche, argent qui provient du bromure d'argent. Le corps halogène (chlore, brome) est mis en liberté. Il faut que le révélateur soit facilement oxydable : dans ce cas, sa chaleur d'oxydation et la chaleur de formation des hydracides, tels que l'acide bromhydrique, suffisent pour provoquer la décomposition des composés argentiques. Toutes les substances facilement oxydables ne peuvent pas être employées pour le développement, parce que le produit de leur oxydation tend quelquefois à déterminer une réaction inverse prédominante. Certaines conditions dans le groupement de la molécule du corps qui constitue le révélateur sont indispensables lorsqu'on s'adresse aux réducteurs de la série aromatique. MM. Lumière ont précisé ces conditions.

Le mode d'action du révélateur chimique est assez simple, les molécules du composé sensible modifié par la lumière attirent, grâce à leur surcroît d'énergie potentielle, les molécules du révélateur et sont réduites par celui-ci à l'état d'argent métallique par l'intermédiaire de l'eau. L'oxygène de l'eau oxyde le révélateur, tandis que son hydrogène s'empare de l'halogène du composé sensible et met ainsi en liberté l'argent qui constitue l'image. Ici se présente une objection : d'où vient l'intensité de cette image ? Les molécules modifiées, bien qu'étant en petit nombre, donnent naissance à une image intense, ce qui ne serait pas possible si ces molécules étaient les seules qui soient réduites dans la couche sensible. Or, la réduction du bromure d'argent s'effectue de proche en proche. Si nous prenons en effet une plaque recouverte d'une couche au gélatinobromure d'argent et si nous l'exposons à la lumière, nous avons une image latente. Portons dans l'obscurité cette

plaque insolée, recouvrons-la sur la moitié de sa surface d'une couche d'émulsion au collodiobromure d'argent, faisons agir immédiatement le révélateur. Nous constatons que, bien que la couche au collodiobromure n'ait pas été insolée, bien que la lumière ne l'ait pas frappée, cependant l'image est plus intense partout où se trouve le collodiobromure. En dissolvant la gélatine par l'eau chaude, il reste une couche de collodiobromure portant l'image. La réduction s'est donc effectuée de molécule à molécule; on peut aussi le démontrer d'une autre manière. Étendons sur une plaque de verre une couche de gélatinobromure suffisamment épaisse pour absorber les rayons chimiques actifs. On s'assure qu'il en est ainsi en plaçant au dos de cette première plaque une seconde glace sensible, qui en qualité de plaque témoin vient prouver, lorsqu'on la plonge dans le révélateur, que toutes les radiations actives ont été absorbées, qu'aucune en un mot n'est venue frapper la seconde couche sensible. En développant la première glace et prolongeant suffisamment l'opération pour que les parties inférieures de l'épaisse couche de gélatinobromure soient réduites aussi bien que la surface, on aperçoit l'image au contact du verre; cependant la seconde plaque atteste que les rayons actiniques ne sont pas arrivés au contact de cette même surface, puisque cette seconde plaque n'est pas modifiée. On est donc en droit de conclure que la réduction s'est propagée grâce à l'attraction exercée par l'argent précipité sur l'argent contenu dans la couche. Et c'est bien une attraction qui se produit : le Dr Eder a montré, en effet, que, si l'on touche avec un sel d'argent la surface d'une plaque préparée au gélatinobromure, tous les points de la couche qui ont été en contact avec l'argent sont rapidement réduits par le révélateur chimique.

Certains auteurs admettent que, dans ce cas, on a affaire à révélateur *physique*, car, en réalité, le bain développant constitue une dissolution extrêmement étendue d'un sel d'argent. En effet, ces révélateurs chimiques contiennent toujours un sel alcalin; si ce sel agit sur le bromure d'argent, il tend à former et forme en effet une petite quantité de bromure alcalin; or le bromure d'argent est très faiblement soluble dans les solutions de bromure alcalin : donc, au début du dévelop-

pement, on a une solution d'argent, un réducteur et de l'argent métallique ; on peut donc dire que l'on se trouve dans les conditions d'emploi des révélateurs physiques. Cette manière d'interpréter les faits est d'accord avec l'expérience ; elle permet d'expliquer pourquoi l'image négative peut devenir *dure* dans le cas de manque de pose, pourquoi elle est grise et sans intensité si l'exposition est par trop insuffisante.

Mais, s'il y a grand excès de pose, l'image obtenue est *solarisée :* certaines parties sont insensibles à l'action du révélateur ; celui-ci n'agit à la longue que sur les parties non impressionnées qu'il noircit. On obtient ainsi une image positive au lieu d'une image négative. M. Janssen a constaté qu'en augmentant considérablement la durée de l'action lumineuse, la couche sensible passe à un second état neutre, puis, avec un temps de pose égal à un million de fois celui qui a donné la première image négative, on obtient une image inverse de second ordre. Pour expliquer ces faits, on admet que, lorsque le bromure d'argent est modifié par la lumière, il se produit, dans les parties solarisées, des composés oxydants. Si l'on plonge alors la plaque dans le bain de développement, le révélateur est tout d'abord oxydé par ces produits et il n'agit pas dans les parties solarisées de la couche. On le prouve en recouvrant à l'aide d'une solution d'un corps oxydant (eau bromée, bichromate de potasse, etc.) certaines parties d'une surface sensible : il y a alors tendance à la solarisation. Si, au contraire, on recouvre la plaque avec la dissolution d'un corps réducteur, il n'y a pas de solarisation ; c'est ainsi qu'une plaque exposée à la lumière et en même temps plongée dans une solution d'acide pyrogallique, ne donne pas d'image renversée.

Nous ne nous arrêterons pas à la théorie du renforcement, les phénomènes qui s'accomplissent sont du domaine de la Chimie pure.

Avant d'examiner les réactions chimiques qui s'effectuent lorsqu'on obtient des photocopies, je tiens à vous montrer ce qu'est l'image négative et je vais faire passer sous vos yeux le négatif obtenu il y a quelques instants en employant comme source lumineuse l'éclair magnésique ; grâce à l'habileté de M. Cousin, qui a bien voulu se charger du dé-

veloppement de l'image latente, vous pouvez constater l'activité lumineuse considérable que procure l'emploi du magnésium combiné avec des matières oxydantes (*fig.* 1).

Le plus souvent ces photocopies sont obtenues à l'aide de chlorure d'argent que l'on fait noircir à la lumière, après l'avoir produit par double décomposition.

Exposée à la lumière, la surface du chlorure d'argent devient violette, puis l'action semble s'arrêter, enfin le chlorure noircit assez vite. L'action de la lumière est limitée à la surface du chlorure; les parties internes restent blanches ou incolores, en même temps il se dégage du chlore. Pour que le chlorure d'argent soit décomposé, il faut qu'il se trouve en présence d'une substance capable de se combiner au chlore au fur et à mesure qu'il se dégage; ces substances sont appelées sensibilisatrices et elles absorbent le chlore par l'intermédiaire de l'eau. Les réactions inverses tendant presque toujours à se produire, il ne se dégage qu'une faible quantité de chlore. M. Richardson a montré que, par l'action de la lumière sur le chlorure d'argent en présence de l'eau, il y a d'abord formation de chlore; on voit ensuite apparaître les produits de l'action du chlore sur l'eau, c'est-à-dire l'acide chlorhydrique et l'ozone.

M. Guntz a étudié l'action de la lumière sur le chlorure d'argent pur et sec, préalablement fondu; en concentrant sur ce chlorure les rayons solaires qui avaient traversé une lentille convergente, il a constaté qu'au début de la réaction, il se forme du chlore et du sous-chlorure d'argent de couleur rouge violacé. M. Guntz prouve la formation de ce sous-chlorure d'argent par l'identité de couleur et de propriété avec le sous-chlorure d'argent bien défini qu'il prépare par double décomposition avec le sous-fluorure d'argent.

Cette formation de sous-chlorure d'argent par la lumière se produit avec une absorption de chaleur égale à $-28^{cal},7$; il y a donc, par le fait de cette décomposition, un travail considérable accompli par la lumière. Ces chiffres montrent pourquoi l'action de la lumière est facilitée par l'addition de substances capables d'absorber le chlore avec dégagement de chaleur et d'introduire ainsi une énergie étrangère qui contribue à la dé-

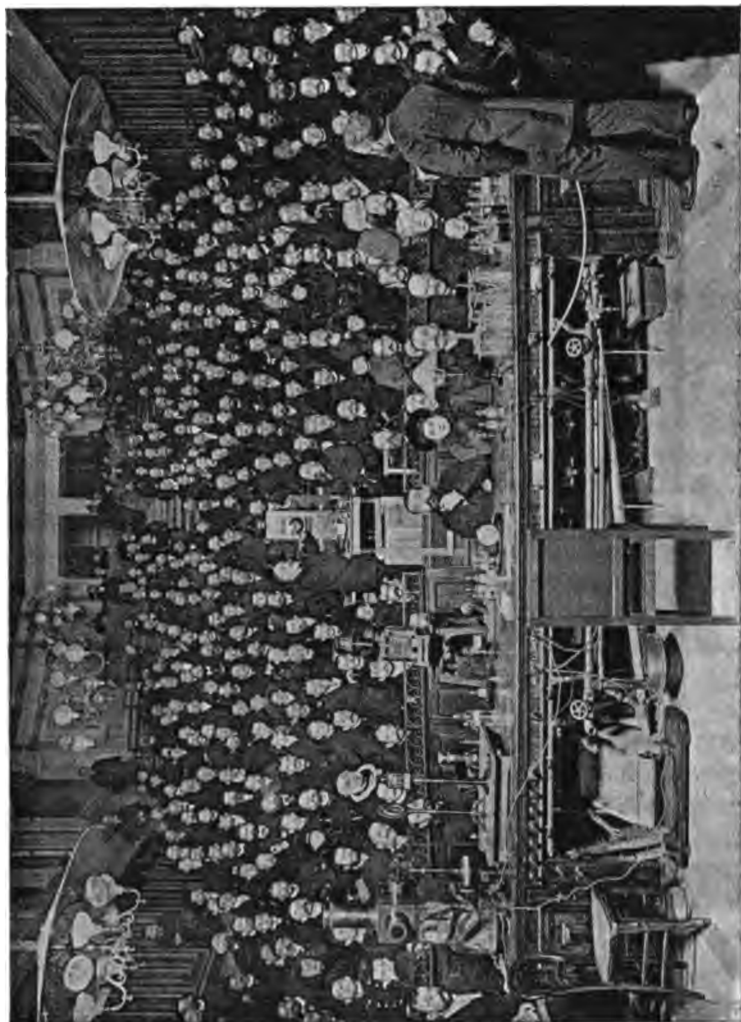


Fig. 1. — Le grand amphithéâtre du Conservatoire, pendant la Conférence de M. C. Fabre.

(Négatif de M. E. Cousin. Simili-gravure de M. Ch.-G. Petit).

composition de la substance insolée. C'est là, Messieurs, une des raisons qui justifient la vieille pratique, trop abandonnée aujourd'hui, des fumigations ammoniacales du papier au chlorure d'argent; à mesure que le chlore se dégage, il y a formation d'acide chlorhydrique qui se combine à l'ammoniaque plus ou moins humide qui se trouve dans le papier et cette réaction active singulièrement l'action de la lumière. Le sous-chlorure d'argent produit, dans la première phase de la réaction, est lui-même décomposé en argent et en chlore : M. Guntz l'a constaté avec le sous-chlorure préparé par voie chimique; on obtient donc, comme produit ultime, de l'argent métallique qui constitue l'image.

En somme, une couche de chlorure d'argent exposée à la lumière se compose, après l'insolation, de trois étages superposés : l'étage supérieur est constitué par de l'argent métallique, au-dessous se trouve une couche de sous-chlorure d'argent, enfin, en contact avec le support, se trouve une couche de chlorure d'argent inaltéré. Les divers points de l'image photographique contiennent donc, même dans les noirs, des substances altérables par la lumière, substances qu'il faut éliminer par l'action du fixateur : on emploie dans ce but l'hyposulfite de sodium. Cette action est assez remarquable pour attirer notre attention. M. Fogg a constaté que le nitrate d'argent dissous et l'hyposulfite dissous dégagent par leur action $+23^{cal}$: il se forme du sulfure d'argent, du nitrate de soude et de l'acide sulfurique dissous : ce sont les produits de la décomposition de l'hyposulfite d'argent, composé blanc qui ne tarde pas à noircir.

L'hyposulfite d'argent, se combinant aux hyposulfites alcalins pour former des sels doubles, donne des composés stables. La combinaison du sel double s'effectue avec un dégagement de chaleur de $+17^{cal},4$. Ce nombre exprime la chaleur de formation de l'hyposulfite double de soude et d'argent dissous, à partir de l'hyposulfite de soude dissous. Ainsi, en versant 1^{vol} de dissolution de nitrate d'argent dans 10^{vol} de dissolution d'hyposulfite de soude, on obtient une liqueur limpide. Si nous examinons, d'après les données thermiques, quelle est l'action de l'hyposulfite de soude sur le chlorure d'argent, nous

constatons que la réaction ne peut s'effectuer par elle-même, parce qu'elle est accompagnée d'une absorption de chaleur égale à — 13^{cal}; mais, comme la dissolution de l'hyposulfite d'argent dans l'hyposulfite de soude s'effectue avec un dégagement de + 17^{cal},4, l'hyposulfite de soude doit dissoudre. et dissout, en effet, le chlorure d'argent avec un dégagement de chaleur de + 4^{cal},4. Sous l'influence de l'hyposulfite de soude, le sous-chlorure d'argent se décompose et donne de l'argent métallique et du chlorure blanc qui se dissout. On peut donc expliquer le fixage des images positives, et cette explication ne change pas, que l'image soit obtenue par noircissement direct ou qu'elle soit obtenue par développement.

Ce développement de l'image positive s'effectue d'ailleurs exactement comme celui d'un négatif : grâce à l'obligeance et à l'habileté bien connues de M. Molteni, nous pouvons projeter sur l'écran les diverses phases de cette opération et obtenir une photocopie du négatif exécuté au début de cette conférence en nous servant de l'éclair magnésique.

En pratique, le fixage ne s'effectue qu'après le *virage*, opération qui a pour but de déposer à la surface de l'image un métal tel que l'or ou le platine, plus solide que l'argent. On assure ainsi la stabilité de l'épreuve, tout en lui donnant une couleur plus agréable que celle qu'elle possède avant cette opération; en général, on effectue ce virage à l'aide des sels d'or. L'or se substitue à l'argent, et cette substitution s'effectue de telle sorte que trois atomes d'argent sont remplacés par un atome d'or. Il y a en même temps formation de chlorure d'argent, composé altérable par la lumière et qu'il faut enlever par un nouveau fixage. La pratique a montré qu'il convient d'associer au chlorure d'or certains sels alcalins, tels que le borax, l'acétate de soude fondu, le phosphate de soude, etc.; l'acide chlorhydrique qui accompagne presque toujours le chlorure d'or du commerce est ainsi neutralisé et l'on n'a plus à craindre que l'image soit *rangée* dans le bain de virage. La teinte de l'épreuve s'affaiblit toujours par suite de la formation d'une petite quantité de chlorure d'argent : de là dans la pratique cette nécessité d'imprimer l'image plus vigoureusement qu'il n'est

nécessaire, le virage et le fixage amenant l'épreuve à une tonalité convenable.

La couleur que possède l'épreuve au sortir du bain de virage dépend de diverses circonstances : si le dépôt d'or s'effectue rapidement, cette couleur tend vers le bleu violacé ; si elle se fait lentement, au contraire, elle tend vers le brun ou le brun rouge. Cette vitesse de précipitation de l'or est fonction et de la température et de la nature des sels ajoutés au bain. MM. Davanne et Girard ont montré, il y a plus de trente ans, que l'on devait toujours employer des bains de virage ayant perdu la teinte jaune qu'ils présentent au moment de leur préparation ; si, à un tel bain décoloré, on ajoute de l'eau de chaux, le virage s'effectue très vite et l'épreuve présente une teinte d'un bleu violacé ; au contraire, si l'on ajoute de l'acide acétique au bain de virage, ou bien si après l'insolation les épreuves sont lavées dans une eau chargée d'acide acétique, le virage s'effectue lentement et l'image est d'une teinte rouge. Enfin, si l'on se sert de bains dits neutres, ce qu'on obtient facilement en ajoutant de la craie en poudre à la solution de chlorure d'or, la coloration de l'épreuve varie entre le violet et le rouge.

L'expérience a montré à tous les débutants en Photographie que, pendant l'opération du virage, il fallait éviter soigneusement l'action de l'hyposulfite de sodium sur les épreuves, sous peine de faire apparaître des taches jaunes ; d'après les réactions que nous avons effectuées devant vous, il est facile de voir que, dans ces conditions, il se forme du sulfure d'argent. Dans les parties de l'image ainsi tachées, le virage s'effectue très lentement ; il se dépose du sulfure d'or brun. Il est donc utile de laver l'épreuve après le virage et de ne faire le fixage qu'après cette opération. Le fixateur ne dissout pas seulement les sels d'argent inaltérés qui se trouvent dans la couche immédiatement après l'insolation ; il dissout encore le chlorure d'argent qui se produit pendant le virage ; c'est à cette dissolution du chlorure que l'on peut attribuer le changement de teinte de l'épreuve qui *dévire* dans le bain fixateur.

Nous devons examiner ici une question qui a été posée il y a quelque quarante ans, question sur laquelle je dois appeler

votre attention : faut-il mélanger les bains de virage et de fixage afin d'effectuer simultanément les deux opérations ? De nouvelles formules de bains permettant de virer et de fixer en même temps sont publiées tous les jours ; inutile d'ajouter que ces formules ne présentent rien de nouveau, et que, le plus souvent, elles se bornent à rééditer des recettes condamnées depuis longtemps par la pratique. Ces bains composés dissolvent d'abord le chlorure d'argent de l'épreuve, ce que l'on reconnaît à la teinte rouge de l'image : s'il n'y a pas assez d'hyposulfite dans le bain, la décomposition de l'hyposulfite double d'argent et de soude s'effectue et le sulfure d'argent se forme ; dans le cas contraire, le sous-chlorure d'argent est décomposé ; peu à peu l'or se substitue à l'argent, ce que l'on constate d'après le changement de teinte, et le chlorure d'argent résultant de cette substitution est dissous au fur et à mesure qu'il se produit. Tel est le mode d'action d'un bain correctement préparé et servant pour la première fois.

MM. Davanne et Girard, dans leur remarquable étude sur les épreuves positives, ont proscrit d'une manière absolue ces bains mixtes pour le papier albuminé ; lorsqu'ils sont neufs, ils contiennent de l'hyposulfite d'or et de soude, et il est exact de dire qu'ils dorent l'épreuve, comme l'ont montré Fordos et Gélis en appliquant leur sel d'or à la dorure des images daguerriennes ; le bain qui avait agi sur l'épreuve était rejeté et la dorure s'effectuait d'une manière normale.

Aujourd'hui, on a la prétention de conserver les bains de virage et de les faire durer indéfiniment en les renforçant par simple addition de chlorure d'or. C'est là une pratique des plus dangereuses : en vieillissant, les bains laissent déposer du sulfure d'or et provoquent ainsi la formation de sulfure d'argent, dont la présence amène l'altération des positives ; aussi, depuis quelques années, surtout depuis l'apparition du papier aristotype, voyons-nous dans les nombreuses expositions photographiques des épreuves qui, éclatantes de fraîcheur au moment où elles sortent des mains de l'opérateur, ne tardent pas à pâlir, passer au jaune, souvent même au brun, et cela dans l'espace de quelques semaines. C'est le bain mixte qui est le coupable ; aussi proscrivons-nous son emploi, sauf le cas où

le bain est fraîchement préparé et avec une quantité suffisante d'hyposulfite de soude.

Les sels d'argent, bien qu'universellement employés, ne sont pas les seuls qui soient altérés par la lumière et dont la décomposition soit utilisée pour obtenir des photocopies. C'est ainsi que les sels ferriques sont transformés, sous l'influence de la lumière, en sels ferreux. Prenons par exemple du perchlorure de fer, additionnons-le d'oxalate de potasse, il se forme du peroxalate de fer que la lumière décompose en oxalate ferreux et acide carbonique. L'acide tartrique, diverses substances organiques se comportent de la même manière. Poitevin avait basé sur cette propriété divers procédés de photocopie. Un papier imprégné de chlorure ferrique et d'acide tartrique est exposé à la lumière : il se forme du chlorure ferreux très hygroscopique, qui peut happer les poudres ; l'image obtenue est constituée par une couche de rosée qui se dépose sur les parties insolées du papier.

Cette épreuve, plongée dans un bain de tanin ou d'acide gallique, deviendra noire : lavée avec du prussiate rouge de potasse, elle verra sa teinte virer au bleu. Si l'on remplace le ferricyanure de potassium par le ferrocyanure, on obtiendra une image inverse de la précédente : les parties insolées resteront blanches, par suite de la production de ferrocyanure de fer ; les parties non altérées par la lumière apparaissent en bleu.

Le citrate ferrique ammoniacal donne lieu aux mêmes réactions que le chlorure ferrique : on l'emploie à la préparation des papiers au ferro-prussiate ; pour obtenir de belles images, il faut que la substance sensible soit déposée à la surface du papier, grâce à un encollage suffisant.

La gélatine est soluble dans l'eau chaude : si on la mélange avec du chlorure ferrique dissous, elle devient insoluble ; mais en présence de la lumière, il se forme du chlorure ferreux et la gélatine redevient soluble.

Une réaction analogue se produit avec le papier imprégné de gélatine, perchlorure de fer et acide tartrique ; au lavage, les parties insolées disparaissent ; on peut aussi plonger le papier dans un mélange d'iodure de potassium et d'amidon : le per-

chlorure de fer met en liberté une certaine quantité d'iode qui fournit de l'iodure d'amidon.

Sous l'influence de la lumière et en présence des sels ferriques, la gélatine est oxydée, elle perd la propriété de se gonfler dans l'eau et acquiert celle de retenir l'encre d'imprimerie; cette encre est d'ailleurs repoussée par les parties non oxydées qui peuvent se mouiller; ces propriétés peuvent être utilisées dans de nombreux procédés de phototirage. Mais, dans tous ces procédés, on utilise surtout l'action de la lumière sur les sels de chrome, en présence d'une matière organique. Le bichromate de potassium est réduit à l'état de chromate de potassium et d'acide chromique : ce dernier perd une partie de son oxygène et passe à l'état de chromate d'oxyde de chrome, composé brun qui permet d'obtenir une image positive brune, dont la couleur peut être facilement modifiée. Les chromates d'argent, de plomb, de mercure, possèdent en effet des couleurs spéciales.

Enfin, lorsqu'on combine le bichromate de potassium avec la gélatine, on peut observer des réactions semblables aux précédentes, mais l'oxyde chromique s'unit à une partie de la gélatine et lui communique la propriété d'être insoluble dans l'eau, de retenir l'encre d'imprimerie, etc. Cette modification de la gélatine sert de base à bien des procédés de Photocollographie.

Les sels d'urane se comportent à peu près comme les sels de fer. Enfin les sels de platine, d'or, mélangés à des matières organiques, donnent du platine, de l'or métallique, sous l'influence de la lumière.

Lorsque le chlorure ferrique est mélangé à des sels d'or, de platine, etc., ces sels ne sont pas altérés; mais, si le sel ferrique est réduit par la lumière à l'état de sel ferreux et si l'on immerge le papier dans une solution d'oxalate de potasse, on obtient un précipité qui constitue l'image au platine. Dès 1863, Van Monckhoven a montré qu'en utilisant ces réactions, on obtient une image violette avec les sels d'or, noire avec ceux de platine, brune avec le nitrate d'argent, etc.; ce dernier procédé a été récemment publié en Angleterre sous le nom de *Kallitypie*.

Nous n'examinerons pas l'action de la lumière sur quelques autres substances peu employées en Photographie : toutes ces réactions sont produites par l'ensemble des ondes lumineuses qui constituent la lumière blanche; il nous reste à étudier l'effet qu'exercent les radiations de diverses réfrangibilités sur les composés halogènes de l'argent.

La lumière blanche peut être décomposée en une infinité de radiations de diverses couleurs; on le met en évidence par la production du spectre solaire.

La théorie démontre que les radiations qui agissent sur un composé sensible sont précisément celles que ce composé peut absorber. Bien des expériences permettent de vérifier cette déduction : je vous citerai seulement celles que Schutz-Shellac a instituées en 1870. Il fit fondre du chlorure, du bromure, de l'iodure d'argent et coula ces substances sur une glace de manière à obtenir des plaques, transparentes avec le chlorure d'argent, jaunes avec l'iodure, jaune foncé avec le bromure. Si l'on interpose ces plaques sur le trajet des rayons lumineux, on produit un spectre d'absorption: c'est-à-dire un spectre dans lequel certaines radiations sont absorbées, font complètement défaut. Nous pouvons vous montrer les bandes d'absorption produites par l'interposition des sels de didyme : M. Peignot a bien voulu disposer les appareils de projection de telle sorte que le phénomène soit visible à distance.

L'expérience répétée avec le chlorure d'argent montre que les radiations absorbées sont précisément celles qui agissent sur les composés soumis à l'expérience. Ainsi, les rayons bleus, violets et ultra-violets absorbés par le chlorure d'argent sont ceux qui agissent sur ce composé exposé dans le spectre solaire, et le maximum de coloration a lieu vers la raie H.

Si, avant de soumettre le chlorure d'argent à l'action du spectre solaire, on l'expose pendant un temps très court à la lumière blanche ou bleue, l'impression dans le spectre s'étend à un plus grand nombre de radiations : le rouge et l'infra-rouge augmentent la coloration du papier préalablement impressionné. Il semble donc que les rayons peu réfrangibles, incapables de commencer la décomposition du chlorure d'argent, puissent continuer cette action lorsqu'elle a été commencée

par les rayons les plus réfrangibles; de là les noms de rayons *excitateurs* et de rayons *continuateurs* donnés à ces parties du spectre.

Lorsqu'on incorpore à une couche sensible une faible quantité d'une matière colorante telle que l'éosine, la cyanine, on constate que l'action du spectre sur la couche ainsi colorée est profondément modifiée. Voici des photographies du spectre solaire obtenues les unes sur plaques ordinaires au gélatino-bromure d'argent, les autres sur plaques orthochromatiques préparées par M. Attout-Tailfer, qui est le premier fabricant ayant préparé industriellement des plaques de cette nature; il est facile de voir que la sensibilité de la couche pour les rayons bleus est diminuée et, d'autre part, elle est augmentée pour la couleur que la matière colorante absorbe : ces faits s'expliquent parce qu'une couche sensible est impressionnée par les radiations qu'elle absorbe; de plus, les teintures donnent, avec le bromure d'argent, des combinaisons mécaniques analogues aux laques. Ces combinaisons sont décomposables par la lumière comme le sont les teintures fugitives.

Ainsi donc, par l'addition de matières colorantes aux substances sensibles, on pourra obtenir des images orthochromatiques, c'est-à-dire reproduisant l'intensité des couleurs avec leur juste valeur, de telle sorte que la gamme des tons de l'épreuve finale ne différera pas de la gamme des éclats visuels des couleurs photographiées : en interposant un écran coloré entre la substance sensible et l'objet à reproduire, on peut diminuer l'action de certains rayons; les bleus, par exemple, à l'aide d'un écran jaune. Les matières colorantes à employer dépendront de la couleur du sujet à reproduire; elles doivent satisfaire à plusieurs conditions : d'abord elles doivent présenter un spectre d'absorption dont les bandes sont en concordance avec la couleur qui doit impressionner le plus la couche sensible; en second lieu, elles doivent pouvoir absorber les halogènes, chlore, brome, iode. Cette seconde propriété est indispensable; les substances qui en sont dépourvues ne peuvent pas servir pour l'orthochromatisme; c'est ainsi que la teinture rouge de tournesol, absorbant le rouge, ne rend pas les couches d'émulsion sensibles au rouge, parce

qu'elle n'absorbe pas le brome : il en est de même de l'indigo.

L'essai de la matière colorante qu'il convient d'employer se fait d'une manière très simple : on dissout la substance, la liqueur colorée obtenue est placée sur le trajet des rayons lumineux, on examine le spectre produit qui doit présenter les bandes d'absorption relatives à la couleur que l'on veut photographier. Il suffit d'ailleurs d'ajouter à l'émulsion une faible quantité de ces teintures.

Tels sont, Messieurs, les principes de Chimie photographique que j'avais pour mission de vous exposer; je serais heureux si ces quelques notions vous encourageaient à poursuivre cette étude. C'est à la Chimie photographique qu'est dû l'état actuel de la Photographie; la Chimie nous permettra de la perfectionner encore. En travaillant ainsi aux progrès de l'Art et de l'Industrie, nous aurons fait œuvre de vrais patriotes : nous aurons contribué à accroître la grandeur et la prospérité de la France.

LA

PHOTOGRAPHIE MÉDICALE,

CONFÉRENCE DU 24 JANVIER 1892

Par M. A. LONDE,

Chef du Service photographique de l'Hospice de la Salpêtrière,
Membre du Comité d'administration de la Société française de Photographie.

MESDAMES, MESSIEURS,

J'ai à vous parler aujourd'hui de la Photographie médicale. Permettez-moi d'abord de vous exprimer le regret de n'avoir à ma disposition qu'un laps de temps absolument insuffisant pour traiter un pareil sujet.

En effet, et j'espère vous le prouver, les problèmes qui se posent au point de vue médical embrassent la Photographie tout entière et, pour les résoudre, il nous faudra mettre en œuvre toutes les ressources pourtant si nombreuses de cette nouvelle science.

Par ce fait même, cette conférence, qui, par son titre, semblerait exclusivement réservée aux seules personnes s'occupant d'études médicales, pourra être néanmoins profitable à tous ceux qu'intéresse la Photographie. Les difficultés que l'on rencontre en Photographie médicale se retrouvent en effet dans la pratique de l'amateur et du professionnel, et tout ce que je dirai, question de modèle à part, s'appliquera aux travaux journaliers de l'un et de l'autre.

D'ailleurs, nous pensons que la Photographie, qui, au point de vue artistique et industriel, a son autonomie complète, n'est pas moins indépendante au point de vue scientifique. Elle a des moyens d'action qui lui sont propres, des méthodes particulières d'enregistrement et d'analyse qui lui appartiennent. Suivant les cas spéciaux, les diverses hypothèses de la pratique, on pourra créer des variantes, des modifications, mais les principes, les lois resteront toujours invariables.

Pour nous rendre compte de la vérité de cette assertion, il nous suffit de passer en revue les qualités fondamentales de la Photographie, qualités qui lui sont personnelles, et lui ont permis durant la seconde moitié de ce siècle de prendre une part si grande dans les arts, l'industrie et la science.

La première de ces qualités, c'est la sincérité, l'exactitude de la reproduction. Quelle que soit la complication d'un objet, rien n'est plus simple maintenant que d'en obtenir la reproduction absolument fidèle. Ici pas d'interprétation possible.

Que l'objet soit petit ou grand, qu'il soit près de nous ou au contraire fort éloigné, il ne peut nous échapper.

Le matériel nécessaire est peu compliqué et il suffit de quelques instants pour obtenir le résultat. C'est là un autre avantage important, celui de la rapidité d'exécution.

Mais ce n'est pas encore tout; depuis la découverte du gélatinobromure d'argent, cette rapidité d'exécution est devenue telle que l'on a pu saisir les mouvements les plus rapides et analyser toute une série de phénomènes que notre œil n'était pas apte à percevoir à cause de leur brièveté.

D'autre part, la sensibilité spéciale de la plaque photographique pour certains rayons du spectre lui permet dans quelques cas de révéler des images absolument invisibles pour nous.

Grâce à ces qualités que nous venons d'énumérer rapidement, nous pouvons garder la reproduction durable d'un objet, quelque compliqué qu'il soit et quand bien même la rapidité de son mouvement ou sa coloration propre lui permettraient d'échapper à l'œil.

Ces résultats déjà si importants prennent une valeur nouvelle grâce encore à la Photographie qui donne de nombreux

moyens de les multiplier à l'infini; de plus, par suite de progrès accomplis depuis quelques années, on peut leur imprimer des caractères d'exécution tels qu'ils constitueront à travers les âges des documents inaltérables.

Voici les qualités primordiales de la Photographie, qualités dont on tirera parti dans toutes les applications, quelque différentes qu'elles puissent paraître au premier abord, et soyez persuadés que tous les progrès qui auront pour effet d'exalter ces qualités maîtresses de la Photographie auront un retentissement immédiat dans toutes les sciences qui l'utilisent et seront le point de départ de nouvelles recherches et de nouveaux progrès.

Nous allons pouvoir contrôler la vérité de ces assertions en faisant avec vous un rapide historique de la question.

Dès l'invention de la Photographie, les médecins reconnurent l'intérêt qu'il y avait pour eux à recueillir des documents fidèles concernant les sujets qu'ils observaient et à multiplier les résultats obtenus. Mais la lenteur des premiers procédés ne permettait pas facilement la reproduction de malades dont l'immobilité est plus ou moins problématique. Aussi l'on se contenta de faire des reproductions de pièces anatomiques et histologiques. Rousseau, en particulier, a laissé de nombreux travaux dans cet ordre d'idées.

Vient alors le collodion humide qui, par sa sensibilité beaucoup plus grande, permet d'aborder avec facilité les études sur le vivant. Duchenne (de Boulogne) fit alors une série de recherches très intéressantes dont nous aurons du reste à parler de nouveau. Il nous faut citer également Onimus et Martin, puis MM. Hardy et Montméja et enfin, plus récemment, MM. Bourneville et Regnard qui ont fait à la Salpêtrière les premiers travaux photographiques.

Mais la sensibilité du collodion humide était encore loin d'être suffisante dans la majorité des cas. De plus, il fallait opérer soi-même et se résigner à obtenir des épreuves d'une conservation douteuse.

Enfin, et nous devons le dire, une sorte de défaveur s'attachait à tous ceux qui maniaient la chambre noire.

Toutes ces raisons réunies expliquent suffisamment pour-

quoi l'usage de la Photographie ne s'est pas répandu davantage parmi les médecins.

Néanmoins, malgré ces lacunes indiscutables, notre maître, M. le professeur Charcot, pressentant les services considérables que la Photographie pouvait rendre à la Médecine, demanda la création d'un laboratoire de Photographie médicale à la Salpêtrière.

Ce service fut installé en 1878 par les soins de l'administration de l'Assistance publique et dirigé tout d'abord par MM. Bourneville et Regnard, puis par M. Loreau.

En 1882, M. Charcot nous en confiait la direction.

C'est à peu près à cette époque que remonte la découverte du gélatinobromure. L'apparition du nouveau procédé donna un élan nouveau à la Photographie, et c'est à partir de ce moment seulement que la Photographie médicale a pu prendre un développement complet.

L'exemple de M. Charcot a été suivi et actuellement de nombreux médecins ont recours à la Photographie; nous pouvons citer en particulier les laboratoires de M. Bourneville et de M. Féré, à Bicêtre; de M. Voisin, à la Salpêtrière; du regretté professeur Damaschino, à Laennec; de M. Yvon, à la Faculté de Médecine; de M. Bernard, à Lille; de M. Donnadieu, à Lyon; de M. Doyen, à Reims.

Il existe également des laboratoires de Photographie à l'hôpital Saint-Louis, à Sainte-Anne, à l'asile de Villejuif. Nous sommes d'ailleurs convaincu que le laboratoire photographique deviendra l'annexe obligatoire de toute clinique.

Nous allons examiner maintenant le rôle de la Photographie en Médecine, voir les modifications spéciales qu'il nous faudra apporter au matériel courant, ainsi que les diverses hypothèses qui se rencontreront dans la pratique journalière et nous amèneront à des solutions particulières.

Lorsqu'un malade arrive à l'hôpital, il est relevé par les soins du personnel médical une pièce spéciale qu'on nomme l'observation, pièce sur laquelle sont consignés les antécédents du malade et la description aussi complète que possible de son état actuel. Dans bien des cas, ce document sera suffisant, mais

dans d'autres il est évident que l'épreuve photographique le complétera de la façon la plus saisissante.

Lorsqu'il se produira une modification quelconque dans l'état du malade, il sera intéressant de faire une nouvelle épreuve et la juxtaposition de ces documents, recueillis à des intervalles quelquefois fort longs, indiquera d'une manière très précise les progrès de la guérison ou de la maladie.

S'il s'agit de noter des états essentiellement passagers et fugitifs comme ceux que l'on rencontre particulièrement chez les nerveux et les aliénés, la Photographie permettra seule de garder la trace de ces phénomènes trop rapides pour être analysés par l'œil.

Après le décès même, le rôle de la Photographie n'est pas fini; elle prêtera son concours à l'anatomiste pour reproduire les différentes lésions et en conserver la trace durable, à l'histologiste pour reproduire ces coupes si fines dans lesquelles il étudie les éléments les plus ténus de l'organisme et y recherche les lésions.

Une fois tous ces documents amassés, le médecin sera conduit naturellement à les divulguer dans un but scientifique et pédagogique, et ses travaux en retireront des avantages indiscutables de netteté et de clarté.

Pour remplir un pareil programme, il faudra une organisation très complète et, comme exemple, nous vous décrirons l'installation du laboratoire de la Salpêtrière qui peut être considéré comme un modèle de ce genre (*fig.* 1) [1].

Ce laboratoire comprend trois pièces dont la destination est différente :

1° Un laboratoire clair C, où s'exécutent toutes les opérations qui ne craignent pas la lumière du jour;

2° Un laboratoire noir B, où se font les manipulations de substances sensibles et les développements, le tout à la lumière rouge ;

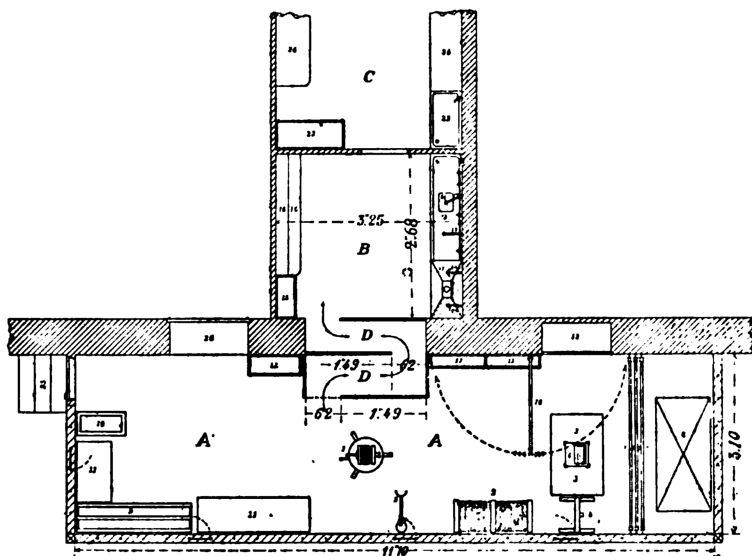
3° Le laboratoire vitré A, où s'effectue la pose. C'est surtout

---

[1] Les figures insérées dans cet article sont extraites de *La Photographie médicale,* ouvrage que M. Londe va publier chez MM. Gauthier-Villars et fils.

dans cette pièce que nous avons introduit certains dispositifs nécessités par les études spéciales que nous avons à faire. L'atelier, vitré sur toutes ses faces, est exposé au Nord-Est, et, par ses vastes dimensions il permet d'y conduire les malades même sur des brancards. S'ils ne peuvent marcher,

Fig. 1.



Atelier de la Salpêtrière.

un lit (6) placé à une des extrémités permet de les recevoir. On peut encore les suspendre à une véritable potence (14), au moyen d'un appareil de suspension analogue à celui qui sert pour le traitement de l'ataxie locomotrice. Devant le lit, et enroulés au plafond, se trouvent des fonds en toile diversement teintés (7, 7, 7); on descend l'un ou l'autre suivant les besoins. Pour faciliter le passage de l'atelier au laboratoire, nous nous servons d'un couloir (D) en forme de chicane, qui permet à l'opérateur d'entrer et de sortir sans que jamais la lumière puisse pénétrer.

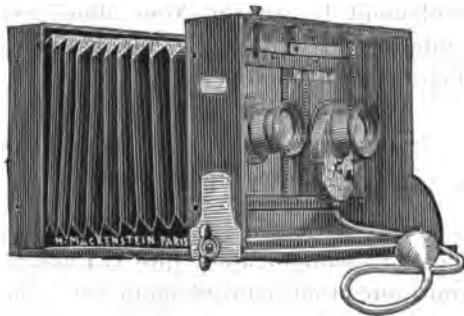
En ce qui concerne le matériel nécessaire, il faut tout com-

biner pour opérer le plus rapidement possible; en effet, si certains malades sont faciles à reproduire par suite de leur état morbide, d'autres, au contraire, présentent une mobilité telle que, pour les saisir, il faudra recourir aux procédés instantanés les plus perfectionnés.

Nous emploierons par suite l'objectif qui, à la rectitude de la reproduction, joint la rapidité la plus grande : cet objectif est l'aplanétique. Nous n'admettrons l'objectif double à portraits qu'exceptionnellement et pour certains travaux exigeant encore plus de rapidité, mais dans lesquels on peut se contenter d'une image de petite taille. Comme plaques, nous nous servirons des plaques au gélatinobromure d'argent, les plus connues pour leur sensibilité.

En fait de chambre noire, bien que tout modèle puisse être

Fig. 2.



Chambre double.

employé, nous nous servons d'un appareil que nous avons fait construire spécialement pour le laboratoire de la Salpêtrière. C'est une chambre à deux corps qui, au moyen de deux objectifs identiques, nous donne deux images semblables, l'une que nous recevons sur la plaque sensible et l'autre sur le verre dépoli (*fig.* 2). Comme les deux objectifs sont commandés par la même crémaillère, toute image nette sur le verre dépoli le sera également sur la plaque sensible. Avec cet appareil, nous pouvons suivre notre malade, le maintenir au point et opérer au moment précis, car cet appareil supprime le temps

perdu qui s'écoule dans les appareils ordinaires entre la mise au point et la pose, temps qui est plus que suffisant pour que le malade ait pu se déranger et n'être plus au foyer ou dans le champ de l'instrument.

Cet appareil présente donc des avantages indiscutables pour les études médicales. Il est armé, bien entendu, d'un obturateur instantané dont on peut régler les vitesses suivant les circonstances.

Voyons maintenant le parti que nous allons pouvoir tirer de cette installation et de ce matériel.

On peut diviser les malades en deux catégories : ceux qui sont au repos et par suite immobiles ou à peu près, puis ceux qui, à cause de leur mobilité, ne sauraient permettre l'emploi des procédés ordinaires de la Photographie posée. Dans un cas comme dans l'autre, l'affection pourra porter sur l'ensemble du corps ou sur un des membres isolément, ou encore sur une partie seulement de ceux-ci. Nous allons examiner ces diverses hypothèses, d'abord dans la Photographie posée, puis dans la Photographie instantanée.

I. — Photographie posée.

Les modifications pathologiques que la Photographie peut enregistrer ont toutes trait naturellement à des modifications de la forme humaine dans son ensemble ou dans ses parties. Il faut donc tout d'abord, comme l'a si bien dit M. le professeur Charcot, connaître d'une façon précise, et jusque dans les moindres détails, la conformation extérieure du corps humain.

Cette étude sera facilitée de beaucoup par la Photographie, qui permettra de noter les formes vraies dans le repos et dans les divers mouvements. Il existe, du reste, sur ce sujet un magnifique travail de notre ami le Dr Paul Richer, et c'est un Ouvrage qui peut rendre les plus grands services aux médecins et aux artistes, car par des dessins parfaitement exécutés l'auteur montre non seulement les modifications de la forme dans tel ou tel

mouvement, mais en donne encore la raison anatomique ([1]).

L'étude du nu morphologique permettra d'éviter d'attribuer à la maladie des modifications qui n'ont rien que de normal, et de commettre ainsi de grossières erreurs.

Abordons maintenant l'étude du nu pathologique.

Malades en pied. — La reproduction des malades dans leur entier sera utile dans bien des cas, pour montrer les lésions affectant l'individu dans son ensemble ou un ou plusieurs membres simultanément. Dans un cas d'hémiatrophie, par exemple, il est du plus haut intérêt de reproduire à la fois le côté sain et le côté malade. S'il s'agit de contractures hystériques partielles et localisées soit d'un côté du corps, soit aux membres inférieurs ou supérieurs, il est bien plus important de noter l'aspect général du malade que de prendre des épreuves isolées de chacun des membres atteints.

Les études de nu seront délicates, car il s'agit d'obtenir des ombres bien détaillées et des lumières bien modelées. On atteindra ce résultat en maniant habilement l'éclairage, en réglant le temps d'exposition et en développant d'une manière raisonnée. Le malade sera placé sur un fond gris foncé; c'est celui sur lequel les chairs se détachent le mieux et du côté de l'ombre et du côté de la lumière.

Bien que nous supposions le malade tranquille, le seul fait de le photographier debout exige une pose assez courte : nous ne pouvons, en effet, employer l'appui-tête ou l'appui-corps des photographes. Ces appareils ont le grave inconvénient de donner aux modèles des poses raides et empruntées. En Médecine, il faut éviter ce subterfuge d'une manière absolue, car, outre les modifications de la forme, on rencontre souvent des attitudes particulières qui ont été imprimées au malade par l'affection dont il est atteint. Ces attitudes ont une grande valeur au point de vue du diagnostic, et la représentation doit en être faite d'une manière rigoureuse, afin de leur laisser leur caractère particulier. L'attitude dans la sciatique, par exemple, dans la paralysie générale, celle de certains aliénés,

---

([1]) Richer (Paul), *Anatomie artistique;* 1890. (Paris, E. Plon et Cie).

idiots ou dégénérés sont typiques et il faut les respecter d'une manière absolue (*fig.* 3).



Fig. 3. — Attitude dans la paralysie agitante au début.

Têtes. — L'étude des têtes n'est pas moins intéressante, que l'affection soit localisée à cette partie de l'individu, ou que l'on désire la reproduire à plus grande échelle que précédemment pour mieux en voir les détails.

Pour les mêmes raisons que nous venons de donner, il faudra rejeter encore ici l'appui-tête, pour laisser à la tête son allure véritable. Comme nous opérons à plus courte distance et que la tête renferme des plans distincts les uns des autres, il faudra diaphragmer beaucoup plus l'objectif, et, les temps de pose devenant naturellement plus longs, on peut affirmer que la reproduction des têtes à grande échelle constitue une véritable difficulté, d'autant plus que le moindre mouvement entraînera le flou de l'image. Il faudra donc régler la taille d'après la tranquillité du malade, et, dans les cas difficiles, se contenter de petites épreuves, que l'on pourra obtenir plus rapidement et que l'on ramènera ensuite à la taille voulue par un agrandissement postérieur. Nous faisons passer sous vos yeux un exemple de contracture de la face et un cas d'asymétrie du visage qui sont fort remarquables. Il est évident que de telles épreuves sont bien supérieures à une description, si bien faite qu'elle soit.

Les modifications imprimées par la maladie peuvent n'avoir en elles-mêmes rien de particulièrement remarquable et ne pas constituer d'anomalies à proprement parler; mais, si l'on retrouve ces mêmes modifications chez toute une série de malades atteints de la même affection, elles prennent alors une importance capitale, car elles montrent bien les modifications imputables à la maladie. C'est par l'examen d'un grand nombre de malades, par la comparaison de photographies soigneusement amassées et venant quelquefois de l'autre bout du monde, que l'École de la Salpêtrière en particulier est arrivée à décrire certains *facies* pathologiques, tels que celui de la sclérodermie, du goître exophtalmique, de la myopathie, du myxœdème de l'acromégalie, etc., etc. Ces facies, une fois entrevus, restent gravés dans l'esprit, bien mieux que celui que l'imagination pourrait créer d'après la lecture d'une observation (*fig.* 4). Nous pourrions citer, à propos de l'acromégalie en particulier, des faits qui montrent que des médecins,

au courant de ces questions, ont pu diagnostiquer à simple vue cette affection, tandis que d'autres non moins habiles, connaissant des observations sur le sujet, et en ayant tous les jours sous les yeux un individu présentant la maladie dans son entier développement, n'ont pas vu que ce dernier rentrait parfaitement dans la description faite dans l'observation.

Il sera possible, avec tous ces documents, de réaliser par la

Fig. 4.



Facies dans la paralysie agitante.

Photographie la conception de Galton et d'obtenir un portrait composite, dans lequel tous les caractères individuels disparaîtront pour ne laisser que les modifications communes imprimées par la maladie.

Il est bon d'ajouter que, dans ces études, il faudra toujours, lorsqu'il sera possible, se procurer un portrait antérieur du malade : ce sera la preuve évidente que les modifications qui constituent le facies ne sont pas simplement congénitales mais constituent, au contraire, le véritable sceau de l'affection. Maintenant que la Photographie est diffusée partout, ce moyen de contrôle sera très précieux et il permettra même, dans certains cas, d'assigner une date probable au début de l'affection.

Mains. — Les mains sont fréquemment atteintes, qu'il s'agisse de paralysies, d'atrophies, de griffes, de contractures, etc., et la pathologie nous offre, de ce côté, un champ d'études très

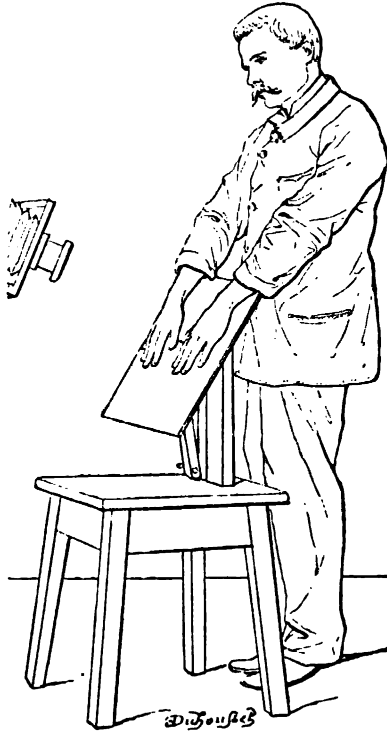


Fig. 5. — Appareil pour la photographie des mains.

vaste, auquel on pourrait joindre celui non moins important des mains professionnelles.

La reproduction des mains, la plupart du temps, sera assez aisée à faire, il suffira d'avoir un dispositif convenable pour les photographier. Nous nous servons, à la Salpêtrière, d'un plateau qui peut s'incliner plus ou moins, plateau sur lequel le malade place ses mains sans fatigue. L'appareil photographique est placé parallèlement à ce plateau et l'on obtient ainsi des épreuves irréprochables (*fig.* 5). La taille de la reproduction

sera déterminée par l'état du malade; s'il est atteint de tremblement, par exemple, il faudra réduire le format autant que possible et procéder ensuite à un agrandissement ultérieur.

Toutes les fois que les modifications porteront sur le volume

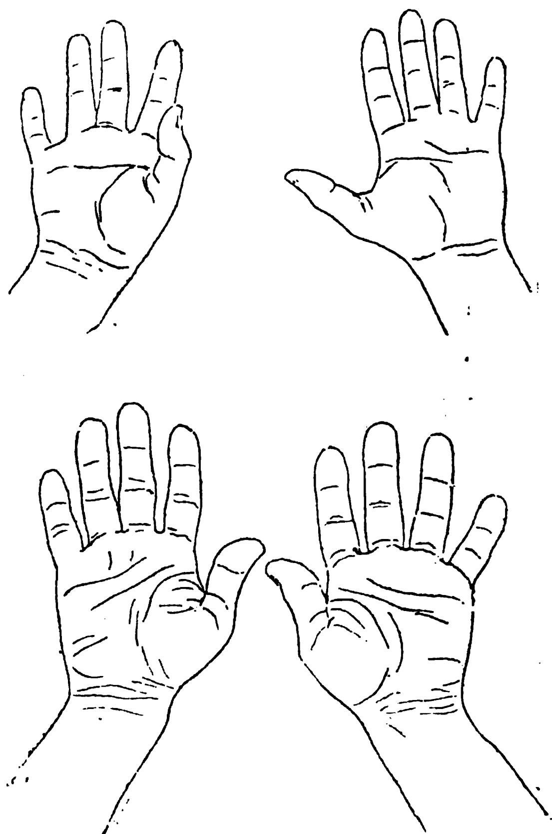


Fig. 6. — Comparaison des mains.

de la main, il sera indispensable de photographier en même temps l'autre main restée saine, ou la main d'un sujet normal si les deux sont atteintes. C'est en procédant ainsi qu'on montre d'une façon saisissante les dimensions énormes de la main dans l'acromégalie (*fig.* 6).

Pieds. — On appliquera aux pieds les mêmes règles que nous venons d'indiquer. Il sera seulement nécessaire d'élever le malade de façon à ce que ses pieds soient à la hauteur de l'appareil, afin d'éviter toute déformation.

Détails des membres. — Lorsque la lésion sera localisée en un point absolument délimité, il suffira de faire cette partie pour l'avoir à l'échelle la plus grande possible. Les temps de pose, ainsi que la théorie l'indique, augmenteront d'autant plus que l'on se rapprochera du modèle et que l'on voudra obtenir une image de grand format. La plus ou moins grande stabilité du malade indiquera à l'opérateur la conduite qu'il devra tenir. Les détails des divers organes de la face : nez, bouche, yeux, oreilles, donneront des documents que l'on pourra réunir en grand nombre au moyen de la Photographie, pour procéder ensuite à des études comparatives dont l'intérêt ne saurait échapper à personne. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude de la forme de l'oreille, qui peut donner des renseignements très complets au point de vue signalétique, ainsi que l'a démontré M. Bertillon, n'est pas moins intéressante à examiner chez les aliénés, les dégénérés et les idiots. Les travaux de MM. Feré et Seglas le prouvent d'une façon surabondante.

Si l'on veut, dans cette hypothèse, des documents d'une certaine taille, et souvent on pourra désirer l'épreuve de taille égale, comme pour l'œil, par exemple, il sera nécessaire d'avoir un appareil à long tirage et de poser un temps convenable pour obtenir un bon négatif. On rencontrera, de ce côté, de véritables difficultés pour l'exécution de ces images à grande échelle, et il faudra réaliser toutes les conditions pratiques, éclairage intense, objectif très lumineux, plaques très sensibles, révélateur énergique, qui permettront de réduire la pose le plus possible.

L'avantage de ces épreuves est indiscutable, car les plus petits détails en sont nettement perçus, ainsi que vous pouvez le voir sur cette projection d'un œil qui, sur l'écran, atteint des dimensions énormes.

Mais la Photographie ne se borne pas à l'étude des formes

extérieures de l'individu : on sait que, grâce à certains appareils spéciaux, on peut explorer maintenant les diverses cavités du corps humain, le nez, l'oreille, l'estomac, et étudier même avec grande précision tous les détails du fond de l'œil. Dans ces études, l'examen du médecin est nécessairement fort rapide, et, sans qu'il soit besoin d'insister, il est évident qu'il y aura un grand intérêt pour l'opérateur à recueillir en un instant très court l'image fidèle de l'organe qu'il veut reproduire pour pouvoir l'étudier ensuite à tête reposée. Les difficultés d'exécution sont très grandes, il faut l'avouer, et l'introduction de la Photographie dans ces études spéciales n'est qu'à son début. La question d'éclairage a toujours été la pierre d'achoppement, car il faut opérer avec rapidité. Heureusement que les sources de lumière artificielle, obtenues par la combustion du magnésium en poudre, paraissent destinées à combler la lacune qui existait auparavant.

L'étude du fond de l'œil par la Photographie a déjà été l'objet de nombreuses expériences; ici le problème se complique par suite de la présence de la cornée, qui envoie dans l'appareil photographique des reflets qu'il est fort difficile d'éliminer. D'autre part, l'action de la lumière magnésique, qui est d'une intensité considérable, peut amener dans l'organe des désordres graves. On voit donc que la question n'est pas aussi simple qu'elle pourrait le paraître tout d'abord.

Néanmoins, je crois devoir vous citer des essais très intéressants qui viennent d'être faits en Allemagne, tout récemment, et qui ont donné des résultats bien supérieurs à tout ce qui avait été fait auparavant. L'auteur met devant l'œil une petite chambre munie d'une lame de verre à faces parallèles qui est à la partie antérieure, et il remplit cet appareil d'un liquide déterminé. Avec ce dispositif, l'auteur prétend éliminer complètement les reflets de la cornée. Je vous montre, du reste, l'épreuve obtenue avec ce dispositif, on y distingue parfaitement la papille et les divers vaisseaux du fond de l'œil.

Nous ne doutons pas qu'après certains perfectionnements, la Photographie ne devienne d'un usage courant dans l'examen ophtalmologique.

Maladies de la peau. — Sans qu'il y ait modification de la forme, on peut rencontrer toute une série de maladies qui affectent uniquement l'enveloppe externe du corps humain : ce sont les maladies de la peau, qui sont aussi nombreuses que variées, et il sera évidemment fort instructif d'en noter, au moyen d'épreuves prises à des intervalles déterminés, toutes les phases de l'évolution. Les dermatologistes ont depuis longtemps eu recours à la Photographie, et, dans cet ordre d'idées, il me suffit de vous rappeler le beau travail de MM. Hardy et Montméja et les intéressantes recherches de M. Lallier.

Les difficultés que l'on rencontrera proviendront de la coloration spéciale des tissus malades, coloration qui peut n'être rendue qu'imparfaitement par la plaque sensible, qui, on le sait, n'a pas la propriété de rendre les diverses colorations avec les valeurs que notre œil perçoit. On a cependant fait de ce côté des progrès notables, grâce à l'emploi des plaques isochromatiques, qui permettent d'obtenir les rouges et les jaunes, autrefois si difficiles à reproduire.

Rien ne dit même que cet inactinisme de certaines couleurs ne peut être, au contraire, d'un précieux secours pour ces études spéciales, car il est certain que si la plaque ne rend pas exactement la valeur de certaines tonalités, elle peut, d'autre part, déceler des choses absolument invisibles pour nous. Vogel rapporte, dans un de ses Ouvrages, le cas d'une dame qui, venant se faire photographier, reçut un portrait constellé de points noirs. Trois jours après, elle mourait de la petite vérole. L'authenticité de cette observation est peut-être discutable, mais le fait en lui-même n'est pas improbable. Il est absolument certain que la plaque sensible peut relever des détails que l'œil le plus exercé ne saurait percevoir.

Nous sommes convaincu que des recherches faites scientifiquement dans cet ordre d'idées permettront, en particulier dans les maladies éruptives, d'obtenir plusieurs jours plus tôt des indications susceptibles de faciliter le diagnostic.

II. — Photographie instantanée.

Nous venons d'étudier la conduite à tenir lorsque le malade est tranquille. Voyons maintenant ce qu'il faudra faire lorsque la maladie sera cause de mouvements involontaires, qu'elle se traduira par des crises plus ou moins violentes, ou qu'enfin il sera nécessaire d'analyser l'affection dans les troubles spéciaux qu'elle produit dans l'action.

Au point de vue technique, ce sera l'hypothèse principale dans laquelle des appareils perfectionnés, tels que notre chambre double, seront indispensables. Il faudra employer un obturateur pouvant permettre des poses de durée différente suivant la vitesse du mouvement à reproduire, des plaques d'aussi grande sensibilité que possible et des développements très énergiques.

Les conditions d'éclairage deviendront prédominantes, et si l'on peut, à la rigueur, obtenir quelques instantanés peu rapides dans l'atelier et dans la belle saison, il faudra, la plupart du temps, opérer en plein air et souvent même au soleil.

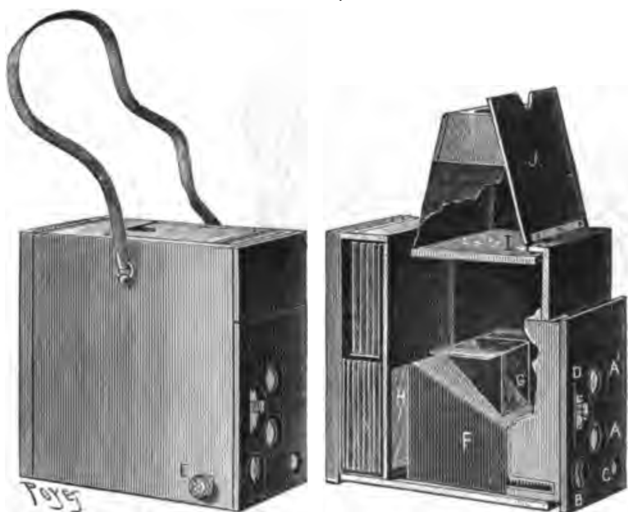
Ce champ d'études est très vaste : les tics, les spasmes, la chorée, l'athéthose, la paralysie agitante, les tremblements de diverses natures, les aliénés, les idiots, les épileptiques, les hystéro-épileptiques seront du domaine de la Photographie instantanée.

Mais procédons par ordre. Nous emploierons tout d'abord les épreuves instantanées pour saisir tous les malades quels qu'ils soient qui n'ont pas l'immobilité suffisante pour pouvoir poser. Nous obtiendrons assez facilement ce résultat par une belle lumière, en ne diaphragmant que peu ou pas du tout, et en nous contentant de reproductions à échelle réduite.

Nous supposons ici des malades que l'on peut amener dans l'atelier ou au dehors et placer devant l'appareil photographique : mais il n'en sera pas toujours ainsi, il faudra quelquefois les suivre et les saisir en quelque sorte au vol. C'est ce qui arrive constamment avec les aliénés et les dégénérés; de plus, ils sont méfiants, et vouloir travailler avec le matériel

courant constituerait une véritable impossibilité. Nous avons fait construire, pour ces travaux spéciaux, un appareil de petites dimensions connu sous le nom de chambre à main Londe et Dessoudeix. Cet appareil, exécuté primitivement pour nos études spéciales, a été mis dans le commerce par M. Dessoudeix, et il est très apprécié de tous ceux qui veulent re-

Fig. 7.



Chambre à main Londe-Dessoudeix.

cueillir au dehors des documents originaux. Comme notre chambre double, mais par un dispositif différent, il permet de viser le modèle, de le mettre au point et de le saisir immédiatement sans temps perdu aucun. Il fonctionne sans pied et permet d'opérer sans éveiller l'attention (*fig.* 7).

Les épreuves obtenues ainsi seront très utiles pour noter l'attitude, le facies des malades non tranquilles; mais il est certains cas où, par un procédé spécial que nous avons imaginé, on peut donner au médecin quelques indications sur les mouvements accomplis et sur leur intensité.

Voici une malade atteinte de chorée rythmée : elle effectue divers mouvements des bras et des jambes suivant une cer-

taine cadence, et les membres sont agités par un tremblement à des intervalles différents, soit isolément, soit simultanément ; de plus, l'amplitude des mouvements est assez variable.

L'œil perçoit seulement l'ensemble de ces mouvements, et si par un instantané rapide nous saisissons notre malade, nous la figerons pour ainsi dire dans une attitude quelconque, atti-



1 2 3

Fig. 8. — Chorée rythmée.

tude qui peut-être même n'a pas été perçue par l'œil, et il sera absolument impossible, à l'examen de l'épreuve, de savoir si tel ou tel membre était en mouvement, et encore moins de se rendre compte de l'intensité de ce mouvement (*fig.* 8, 1).

Faisons au contraire sciemment un instantané de moindre vitesse, de façon à ce que celle-ci soit inférieure à la vitesse du mouvement à reproduire. Les résultats seront tout différents. Les membres en mouvement seront flous et ceci d'autant plus que leur déplacement aura été plus grand. Le médecin, sur une telle épreuve, verra de suite la nature du mouvement et pourra même se faire une idée de son amplitude (*fig.* 8, 2 et 3).

Mais c'est surtout dans l'étude des manifestations de la grande hystérie que la Photographie interviendra avec le plus grand succès,

La grande hystérie se divise en plusieurs états, maintenant bien définis, grâce aux admirables travaux de notre maître, M. le professeur Charcot et de l'école de la Salpêtrière. Ces états sont : la léthargie, la catalepsie et l'hypnotisme. On obtient dans ces divers états, chez les hystériques, des phénomènes du plus haut intérêt, phénomènes qui sont en général essentiellement passagers. La Photographie est donc tout indiquée pour les reproduire, mais il sera nécessaire d'employer des appareils spéciaux pour saisir les malades qui se déplacent ou dont les modifications d'état exigent que l'on prenne rapidement un grand nombre d'épreuves au fur et à mesure de l'apparition des phénomènes.

Répétant les belles expériences de Duchenne (de Boulogne),

Fig. 9.



Greffe cubitale.

on reproduira dans la première période les contractions des membres (*fig.* 9) et de la face, obtenues par la pression des divers muscles. Dans la catalepsie on verra l'influence du geste sur la physionomie, ou inversement, en faradisant les muscles de la face, on obtiendra les attitudes vraies correspondantes (*fig.* 10).

On pourra également chez les mêmes malades éveiller, sous l'influence des excitations sensitives et sensorielles, des hallucinations qui correspondront à une série d'attitudes et d'actes spontanément accomplis. Ces intéressants travaux ont été faits

Fig. 10.



Faradisation du muscle orbiculaire palpébral supérieur.

à la Salpêtrière par M. Georges Guinon et M[lle] Sophie Woltke (d'Odessa) et montrent que, sous l'influence de verres colorés, de différentes odeurs, de bruits variés, on obtient de véritables suggestions par l'excitation des divers sens.

On pourra, dans la troisième période, noter tous les phénomènes que l'on produit par suggestion et se servir même de la Photographie pour contrôler les expériences délicates que l'on fait dans cette partie de l'hypnotisme encore si obscure et si controversée.

En dernier lieu, les crises d'épilepsie et la grande attaque d'hystéro-épilepsie présentent pour la Photographie un champ d'études qui n'a pas été encore complètement exploré à notre

avis, et qui renferme le maximum de difficultés à résoudre au point de vue technique.

Tantôt la malade est immobilisée par des contractions généralisées ou par la tétanisation de tous les muscles (*fig.* 11). Tantôt elle est agitée de tremblements plus ou moins intenses,

Fig. 11.



Contractures généralisées.

soit généraux, soit partiels, puis elle accomplit des mouvements d'une énergie et d'une amplitude considérables, elle prend ensuite des attitudes variées, soit gaies, soit tragiques. Tous ces phénomènes se succédant les uns aux autres avec rapidité et imprévu, l'opérateur peut poser parfois, mais le plus souvent il doit exécuter des instantanés dans les conditions les

plus difficiles, avec un malade qui crie, qui s'agite, qui se déplace continuellement (*fig.* 12). Il faut donc qu'il soit toujours prêt à opérer. Aussi avons-nous dû combiner des appareils spéciaux pour résoudre ce problème si compliqué.

De plus, on se rend parfaitement compte que des instantanés isolés ne peuvent suffire à rendre ces mouvements si complexes et à en donner une idée satisfaisante. Il faut alors

Fig. 12.



Arc de cercle.

procéder à l'analyse systématique du mouvement au moyen d'épreuves successives prises à des intervalles réguliers.

La Photochronographie, qui a été si perfectionnée en France par M. Marey, a donc sa place tout indiquée en Photographie médicale. Mais il est certaines conditions qu'il faut réaliser dans le sujet qui nous occupe et qui nous ont conduit à créer des appareils différents de ceux du savant professeur.

Tout d'abord, il est nécessaire d'obtenir des épreuves d'un format convenable pour être étudiées par le médecin. Nous nous sommes arrêté à la dimension de plaque qui sert pour les projections, et nous croyons qu'il ne faut pas descendre en dessous de ce format.

D'autre part, nous avons limité hypothétiquement à douze le

nombre des épreuves destinées à reproduire les différentes phases d'un mouvement. La pratique nous a montré que ce nombre était absolument suffisant en Photographie médicale.

Nous nous sommes attaché alors à combiner un dispositif qui permît de répartir ces douze épreuves sur la durée du mouvement à étudier, quel qu'il fût, et si, dans certains cas, nous pouvons obtenir notre série en $\frac{1}{10}$ de seconde, il nous est aussi facile d'obtenir le même résultat en un nombre quelconque de secondes.

Nous pouvons même opérer à des intervalles beaucoup plus éloignés, ce qui peut être précieux pour l'analyse des phénomènes de longue durée, tels que les transferts d'attitude, de contracture. L'appareil fonctionne comme un appareil d'enregistrement, et il donne la série des épreuves à des intervalles que nous avons déterminés d'avance.

Nous vous montrons diverses épreuves obtenues avec cet appareil. Voici une version du cou dans un cas de torticolis spasmodique; la série des épreuves a été prise en quatre secondes (*fig.* 13). Dans un cas de transfert de contracture, l'intervalle a été d'une minute. Enfin, dans un bâillement hystérique, il s'est écoulé seulement cinq secondes depuis le début de l'expérience jusqu'à la fin.

Nous insistons sur la nécessité qu'il y a, en Photographie médicale, à régler d'une manière rigoureuse le fonctionnement de l'appareil photochronographique d'après la durée du mouvement à reproduire.

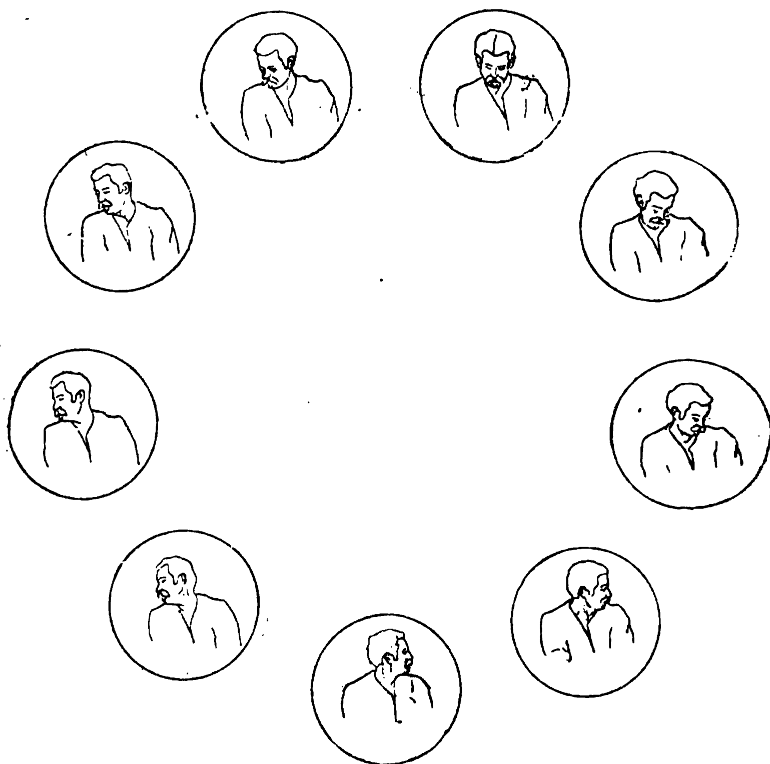
Notre appareil peut également servir pour obtenir une série d'épreuves isolées à des intervalles variables au gré de l'opérateur. Il est commandé électriquement, et le médecin placé près du lit du malade n'a qu'à faire passer le courant pour obtenir une épreuve. Cette manière d'opérer sera particulièrement précieuse pour étudier les diverses phases de l'attaque d'hystéro-épilepsie, dans laquelle certaines attitudes se présentent d'une manière imprévue et absolument irrégulière.

Il permettra également d'étudier d'une manière complète, comme nous l'avons fait avec le Dr Richer, l'influence de l'augmentation de l'intensité du courant électrique dans la

faradisation des muscles de la face pendant la période de la catalepsie.

En résumé, l'attaque d'hystérie offre un merveilleux champ

Fig. 13.



Torticolis spasmodique.
(Épreuve obtenue avec le premier appareil de M. Londe).

d'étude et, grâce aux appareils que nous possédons maintenant. nous espérons pouvoir en faire d'ici peu l'analyse photochronographique.

L'étude de la marche, qui est si profondément modifiée dans certaines maladies et principalement celles du système nerveux, sera faite avantageusement au moyen d'épreuves instantanées isolées ou successives, si l'on veut en saisir toutes les phases.

Si l'on emploie la méthode des empreintes qui a permis à notre ami le Dr Gilles de la Tourette de faire son remarquable travail sur la marche dans les maladies du système nerveux, la Photographie interviendra encore pour garder l'image durable de ces traces légères qu'un rien peut effacer et permettra de reproduire, à une échelle convenable, les tracés obtenus sur de grandes longueurs.

Nous serions incomplet si nous ne citions pas les belles recherches de MM. Quénu et Demenÿ sur le même sujet. Les auteurs se sont servis également de la Photographie pour obtenir la trajectoire des divers points du corps humain pendant la marche. Chacune de ces trajectoires était obtenue par l'usage d'une petite lampe à incandescence, placée sur une articulation déterminée: au moyen d'un disque fenêtré, tournant à une vitesse connue, l'admission de la lumière dans l'appareil de photographie était coupée à des intervalles déterminés.

Avec cet artifice il est très facile de savoir à chaque instant, en fonction du temps, l'espace parcouru par un point déterminé du corps.

Nous avons appliqué une méthode du même genre, avec M. Dutil, à l'enregistrement de certains tremblements nerveux.

Ce procédé, qui consiste à placer une petite lampe à incandescence sur la partie à examiner, et à recevoir l'image sur une surface sensible se déplaçant d'un mouvement continu et connu, est susceptible de nombreuses applications car le poids de la lampe est si minime, qu'elle ne peut amener aucune modification du mouvement observé, ainsi que cela peut arriver avec certains appareils enregistreurs plus pesants.

Nous avons effectué jusqu'à présent toutes les opérations photographiques soit dans l'atelier vitré, soit au dehors lorsque cela était nécessaire. Il faudra cependant quelquefois opérer dans des endroits peu éclairés, salles de malades, par exemple, et il sera difficile alors d'obtenir de bons résultats.

Heureusement que depuis quelques années la Photographie est en possession d'une source de lumière vraiment merveilleuse, produite par la combustion du magnésium en poudre. La Photographie à la lumière artificielle est appelée à un grand

avenir ; elle permet d'opérer à n'importe quel moment et sans avoir besoin d'installation préalable. Elle peut même supprimer d'une manière radicale une des plus grandes difficultés de la Photographie : nous voulons parler de l'appréciation du temps de pose. Après quelques expériences préliminaires, on pourra déterminer les quantités de substance à brûler pour opérer dans tel ou tel cas déterminé.

Au lieu d'opérer dans un atelier spécialement construit et qui ne se trouve pas dans tous les hôpitaux, il suffira de travailler dans une pièce quelconque dont on bouchera les ouvertures au moyen de volets pleins.

Pour cette raison, la Photographie à la lumière artificielle prendra une place importante dans la Photographie des malades. Il est cependant un point sur lequel nous devons attirer particulièrement l'attention.

La brusque apparition de cette lumière d'une intensité considérable peut impressionner le malade, lui faire fermer les yeux, le faire changer d'attitude ou d'expression; si l'on a affaire à des hystériques, ce sera encore plus grave, car ces malades, personne ne l'ignore, tombent en catalepsie à la vue d'une lumière soudaine.

Pour éviter cet inconvénient, il faut que l'éclair soit tellement rapide que le modèle soit photographié avant qu'il ait eu le temps de réagir. Nous sommes arrivé à ce résultat en employant un dispositif que nous avons publié précédemment dans le journal *la Nature*, et qui consiste à brûler un mélange de magnésium et de chlorate de potasse contenu dans une enveloppe de papier nitrifié. Ce dispositif très simple nous a toujours réussi et nous le trouvons de beaucoup supérieur aux lampes au magnésium que l'on rencontre dans le commerce. Pour vous prouver la rapidité de l'éclair ainsi obtenu, nous vous montrons le portrait d'une hystérique à l'état de veille ainsi exécuté. La malade est dans son état normal, et pourtant la lumière l'a plongée en catalepsie ainsi que vous le voyez dans la deuxième épreuve faite une seconde après la première. La malade n'a donc pas eu le temps de réagir, tandis qu'avec les lampes au magnésium qui donnent un éclair de plus longue durée, elle est photographiée précisément pen-

dant qu'elle passe de l'état de veille à celui de catalepsie, ce qui se traduit par un flou général.

Une autre application intéressante de la lumière artificielle consiste à reproduire de jour des intérieurs avec personnages. On sait que, dans ces conditions, il faut poser un temps très considérable; d'autre part, toutes les ouvertures donnant sur le dehors présenteront le phénomène de la solarisation.

La Préfecture de la Seine nous ayant demandé de faire pour l'Exposition de Moscou une série de clichés représentant les aliénés de Sainte-Anne dans leurs lieux ordinaires de réunion, ateliers, réfectoires, salles des jeux, nous avons opéré de la manière suivante. Nous démasquions la surface sensible quelques instants avant la production de l'éclair, puis nous refermions aussitôt après celui-ci. La faible exposition préalable à la lumière du jour ne nous procurait que l'image des fenêtres et ouvertures donnant sur le dehors. L'éclair illuminait tout l'intérieur. Au moyen de cet éclairage combiné du jour et de la lumière artificielle, les ouvertures ne présentent aucune trace de halo, et les malades non prévenus sont saisis dans leur attitude vraie.

III.

Lorsque la guérison surviendra, une dernière épreuve terminera la série au moment de la sortie de l'hôpital; si malheureusement le malade succombe, le rôle du médecin, comme on le sait, n'est pas fini.

Au cours de l'autopsie, il pourra trouver intérêt à conserver l'aspect extérieur des organes lésés, avant de les disséquer pour un examen plus approfondi; souvent même, il devra pousser l'étude plus loin et, l'œil armé du microscope, il suivra la lésion dans la profondeur des tissus jusqu'à ce qu'il ait atteint la cellule, l'élément primordial altéré.

En ce qui concerne la Photographie macroscopique, on se servira d'un appareil vertical à long tirage, et l'on disposera en dessous la pièce à reproduire : celle-ci sera placée soit sur une plaque de liège ou de verre, soit même dans une cuvette en

carton durci remplie d'eau. C'est par ce dernier procédé qu'on éliminera le mieux les reflets dus à l'humidité des tissus.

Nous vous montrons différentes épreuves prises avec cet appareil, qui permettra, entre autres choses, de reproduire systématiquement tous les cerveaux pathologiques présentant une anomalie quelconque, hypertrophie, atrophie, tumeur, ramollissement, etc. Depuis les travaux faits sur les localisations cérébrales, ces études, et principalement celles qui ont trait à la configuration des circonvolutions, ont pris une importance considérable. Une fois ces documents amassés, il sera possible de pénétrer plus loin avec le scalpel.

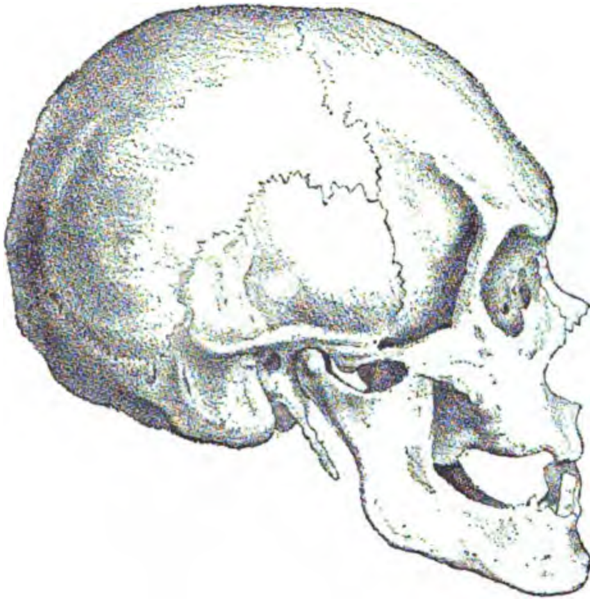
La reproduction des crânes et du squelette donnera également d'utiles renseignements; il ne faudra jamais négliger, quand on le pourra, de photographier comparativement des pièces normales; les différences seront plus éclatantes.

Je fais passer sous vos yeux les photographies de deux crânes: l'un est celui d'une personne normale (*fig.* 14); le second, celui d'un acromégalique (*fig.* 15); les différences sautent aux yeux immédiatement. On voit l'accroissement considérable du volume général du crâne, puis particulièrement de la partie antérieure de la face et du maxillaire inférieur. Ce développement anormal indique bien les modifications qui doivent retentir sur l'aspect de la face et lui donnent ce facies typique constitué par une tête, un nez et un maxillaire inférieur énormes. Il est certain que, devant des modifications aussi profondes, l'exemple du dentiste américain, qui consciemment arrachait successivement les dents de son client pour les remplacer par des pièces spéciales destinées à compenser le désaccord qui s'accentuait entre les deux mâchoires, ne doit pas être suivi. Contre des lésions de ce genre, il n'y a malheureusement jusqu'à nouvel ordre qu'à respecter ce dérèglement de la nature, mais l'on peut éviter au malade des opérations douloureuses, coûteuses, et qui ne peuvent conduire à aucun résultat.

Nous arrivons maintenant à la Micrographie, qui a conduit en Médecine à tant d'utiles et d'importantes découvertes. Il ne nous appartient pas de vous démontrer l'importance des recherches histologiques, mais nous voudrions insister sur deux inconvénients que peuvent présenter les préparations histolo-

giques : ce sont d'abord leur durée problématique, non pas que l'on ne puisse arriver à une bonne conservation, mais souvent on pourra percevoir une chose intéressante sur une préparation faite par des méthodes rapides et peu stables, puis leur unité.

Fig. 14.



Crâne d'une personne normale.

La divulgation n'en est possible qu'au moyen de dessins très compliqués à exécuter et très coûteux. Enfin un accident est bien vite arrivé et en un instant on peut voir perdus à tout jamais des documents de grande valeur.

Pour en garder la trace fidèle, la Photographie est tout indiquée, et même si la préparation est, par suite de soins spéciaux, assurée d'une longue durée, elle peut être brisée accidentellement ou dérobée. L'unité du document, dans l'espèce, est un défaut grave que l'on peut éviter facilement par des reproductions faites au microscope (*fig.* 16).

La Photographie aura donc en Médecine une valeur toute spéciale pour conserver et multiplier les documents histologiques. Elle permettra de plus de faire des comparaisons,

Fig. 15.



Crâne d'un acromégalique.

chose qui est fort difficile au microscope, où l'on ne peut examiner les préparations que successivement.

Comme matériel, nous nous contentons de superposer au microscope une chambre verticale ; ce dispositif nous sert pour les petites surfaces et les forts grossissements. Pour les grandes surfaces, nous employons le condensateur du microscope à projection de Duboscq. Le porte-objectif de cet appareil est remplacé par un microscope ordinaire.

C'est avec cet appareil que nous avons obtenu les planches qui composent l'*Atlas d'Anatomie pathologique de la moelle épinière* que nous avons publié avec notre ami le Dr Paul Blocq [1].

Les difficultés que l'on rencontre en Photomicrographie tiennent à la coloration des coupes et à leur épaisseur. En employant de préférence certaines méthodes de coloration et des microtomes perfectionnés, puis des éclairages colorés et enfin des plaques orthochromatiques, on peut obtenir d'excellents résultats.

Nous faisons passer sous vos yeux un certain nombre de photographies de moelles, soit normales, soit pathologiques, puis de très belles reproductions de microbes colorés qui donnent l'impression absolue des épreuves originales. Ces épreuves, dues à MM. Lumière, de Lyon, sont obtenues par le procédé au charbon et colorées ensuite exactement comme on colore les préparations histologiques.

A ce propos, nous ferons remarquer que, dans les tissus organiques, les couleurs se fixent d'après des affinités chimiques avec tel ou tel élément, ce qui permet d'obtenir des doubles colorations qui distinguent des tissus différents : dans les épreuves projetées, les doubles colorations sont obtenues tout simplement par un artifice de coloration, et si ce procédé peut bien donner avec des microbes sur fond clair, il ne saurait être employé lorsque le fond est venu davantage ou lorsqu'il s'agit de reproduire des moelles dans lesquelles les lésions ne sont indiquées que par des différences d'intensité de l'épreuve.

IV.

Nous venons de parcourir aussi rapidement que possible les applications de la Photographie à la Médecine; elles sont fort nombreuses, comme nous l'avons vu, mais néanmoins leur importance serait bien réduite si tous ces documents devaient rester uniques. Aussi est-il d'un intérêt considérable

---

(1) Paris, G. Masson; 1891.

de savoir que, grâce encore à la Photographie, on peut les multiplier à l'infini avec des caractères de sincérité et de vérité indiscutables.

Les travaux des médecins faits dans les grands centres, et dans les hôpitaux principalement, peuvent être divulgués et permettront la diffusion la plus large de découvertes importantes. Les thèses, les revues, les journaux médicaux gagneront à être illustrés par les méthodes photographiques, et ces publications obtiendront un légitime succès, ainsi que nous l'avons pu constater en fondant, avec MM. Richer et Gilles de la Tourette, la nouvelle Iconographie de la Salpêtrière.

Mais que le médecin se contente de tirer quelques épreuves de ses clichés, ou qu'il désire, au contraire, leur donner une grande publicité, il faut leur imprimer avant tout les caractères de stabilité qui doivent accompagner tout document scientifique.

La Photographie, à l'heure actuelle, permet d'obtenir des impressions absolument durables. Si l'on ne veut que quelques épreuves, on emploiera le procédé au platine ou celui au charbon. Si l'on fait de forts tirages, on n'aura que l'embarras du choix : la Photocollographie, la Photoglyptie, l'Héliogravure, la Similigravure.

Tous ces procédés donnent de bons résultats, mais il faut néanmoins en faire deux classes absolument distinctes : les trois premiers qui nécessitent un tirage hors texte, et le dernier qui est un procédé typographique, c'est-à-dire tirant avec le texte. *A priori* les premiers seront donc beaucoup plus coûteux, puisqu'il faut un tirage à part.

L'avenir est, croyons-nous, aux procédés typographiques, qui permettront de tirer avec la même rapidité et la même économie que les œuvres imprimées. Le problème qu'il faut résoudre est la transformation du cliché, qui est à teintes modelées, en une planche dans laquelle ces différentes valeurs seront représentées exactement par des traits plus ou moins rapprochés; il ne laisse pas que de présenter de grosses difficultés. Cependant, des chercheurs, tels que M. G. Petit, sont sur la voie et obtiennent déjà d'excellents résultats.

Sans plus insister sur l'importance de la divulgation et de la

multiplication de tous les documents recueillis en Photographie médicale, nous voudrions, avant de terminer, indiquer le rôle que ces documents sont destinés à remplir à travers les âges.

A chaque instant on entend parler de maladies bizarres, inconnues, que l'on qualifie de nouvelles. Serait-il donc vrai que le nombre déjà si grand des maux qui affligent notre pauvre humanité va sans cesse en augmentant?

Non, nous ne le croyons pas : au contraire, les progrès de la Médecine moderne ont permis dans certains cas de reconnaître la parenté ou l'identité d'affections que des observateurs différents avaient pu décrire comme maladies spéciales.

Ces rapprochements ont pu être faits grâce à des documents iconographiques: bas-reliefs, statues, gravures, tableaux dans lesquels l'artiste consciencieux, loin de laisser carrière à son imagination, s'est attaché, au contraire, à reproduire fidèlement ce qu'il voyait.

Reportons-nous au moyen-âge, à cette époque où tout paraissait surnaturel, où l'on ne voyait que danses de Saint-Guy et possédées, où l'on pratiquait l'exorcisme et où l'on brûlait même les malheureux que le diable ne voulait pas abandonner.

Grâce aux documents de l'époque, recueillis avec grand soin, notre maître M. Charcot et notre ami M. Paul Richer ont pu, avec un art admirable, montrer l'identité absolue qu'il y avait entre les possédées d'autrefois et nos malades de la Salpêtrière, et prouver ainsi que l'hystérie, cette affection que l'on appelle la maladie du siècle, était au moins aussi fréquente au moyen-âge et qu'elle peut être aussi vieille que le monde.

Admirons en passant ces artistes scrupuleux qui ne craignaient pas de reproduire la nature même dans ses laideurs et ses difformités, et nous ont laissé ainsi des documents de la plus haute valeur.

Ce rôle qu'ils ont rempli appartient désormais aux médecins, qui peuvent maintenant, grâce à la Photographie, laisser aux siècles futurs des documents iconographiques d'un prix inestimable.

J'ai terminé, Messieurs, et comme vous avez pu vous en rendre compte dans cette conférence, que j'ai abrégée le plus possible pour ne pas abuser de votre patience, nous rencontrons en Photographie médicale les hypothèses les plus nombreuses, et, pour les résoudre, il nous a fallu en quelque sorte embrasser la Photographie tout entière.

La Photographie posée et instantanée, la Photochronographie, la Photographie à la lumière artificielle, les agrandissements, la Micrographie, l'Isochromatisme, les procédés de reproduction font partie de ce vaste domaine.

Aussi, pour que la Photographie puisse donner les résultats que l'on doit attendre d'elle, il faudra la travailler et l'étudier plus que l'on ne le fait d'habitude.

C'est pourquoi la création d'un cours de Photographie, que nous réclamons tous, aura, nous en sommes convaincus, une influence décisive sur les progrès de toutes les sciences auxquelles la Photographie peut et doit apporter le concours de ses méthodes et de ses procédés.



L'HISTOIRE

D'UN

OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,

CONFÉRENCE DU 14 FÉVRIER 1892,

Par M. É. WALLON,

Professeur de Physique au Lycée Janson de Sailly.

MESDAMES, MESSIEURS,

Quand j'aurai remercié M. le colonel Laussedat d'avoir bien voulu me faire une place dans les rangs de ceux qui ont l'honneur d'exposer ici, cette année, les principales questions de la science photographique, je vous demanderai toute votre indulgence pour le sujet que j'ai à traiter devant vous.

La question de l'objectif photographique a la réputation d'être un peu sévère; je crois cependant qu'elle méritait d'être étudiée ici de façon spéciale : car toutes les belles applications de la Photographie que l'on vous a déjà montrées et que l'on vous montrera encore ne sont devenues possibles que grâce aux progrès de l'optique photographique. C'est elle qui fournit l'instrument indispensable, qui l'améliore sans cesse; à ses travaux sont liés tous les autres; de ses progrès dépendent ceux de la science photographique tout entière.

I.

Tout d'abord, qu'est-ce qu'un objectif photographique? Un

système plus ou moins compliqué, formé de lentilles à faces sphériques.

Pourquoi est-il compliqué? Il semble, au premier abord, qu'il suffirait d'une lentille unique. On apprend, dans l'Optique géométrique élémentaire, qu'une lentille peut faire converger en un point tous les rayons lumineux issus d'un point unique, et en donner ainsi une *image*. Cela est établi comme une conséquence immédiate des lois de la réfraction; et l'on est même amené à déduire de ces lois que d'un objet plan, perpendiculaire à son axe, une lentille convergente donne une image plane perpendiculaire à l'axe.

Prenons donc un objet remplissant ces conditions: une photographie positive sur verre. Projetons-la d'abord avec un objectif, puis avec une lentille unique; la première image était bonne, la seconde est mauvaise. Nous allons chercher à analyser ses défauts, à les isoler les uns des autres, à nous rendre compte de leurs causes et de leur importance; et nous verrons ensuite comment nous pouvons les corriger par l'emploi d'un système complexe.

Deux de ces défauts apparaissent immédiatement : l'image manque de netteté et présente des irisations. Interposons sur le parcours des rayons, et cela pour une portion seulement de l'image, un écran coloré, qui ne laisse passer que de la lumière monochromatique : les irisations disparaissent, mais le manque de netteté subsiste.

Nous nous occuperons tout d'abord de lui seul, et, pour cela, nous nous servirons de lumière monochromatique.

Il provient de ce que la loi de formation des images n'est qu'une loi approchée : les rayons issus d'un même point ne vont pas réellement converger en un point unique: vraie pour des rayons peu obliques à l'axe et traversant la partie centrale de la lentille, la loi ne l'est ni pour des rayons qui, même parallèles à l'axe, traversent les portions marginales, ni pour ceux dont l'obliquité est un peu grande.

Prenons d'abord un objet plan, perpendiculaire à l'axe, et de petites dimensions : une petite croix lumineuse, par exemple; aucun des rayons n'est très oblique sur l'axe, et cependant l'image n'est pas nette (*fig.* 1); recouvrons, au moyen

d'un anneau opaque, d'un « diaphragme », les bords de la lentille; l'image est moins éclairée, mais sa netteté a aug-

Fig. 1.



menté (*fig.* 2) : c'est que nous avons arrêté les rayons marginaux, qui troublaient l'image parce qu'ils ne donnaient pas le

Fig. 2.



même point de concours que les rayons centraux faisant partie du même faisceau.

Nous allons le mettre en évidence par une deuxième expérience : masquons la lentille par un disque plein, et perçons dans ce disque deux petites ouvertures au voisinage de l'axe. Nous ne laissons ainsi passer que deux pinceaux de rayons centraux : ces pinceaux se rejoignent à une certaine distance en arrière de la lentille pour former l'image; et, en effet, en réglant convenablement la position de la lentille, nous obte-

nons de la croix lumineuse une image unique, assez nette. Fermons ces ouvertures pour en percer deux autres près des bords, de façon à laisser passer cette fois deux pinceaux de rayons marginaux : nous avons deux images distinctes (*fig.* 3), qui sont troubles; c'est que les deux pinceaux se rejoignent non plus sur l'écran, mais en avant de lui; et, en effet, nous pouvons recueillir une image unique, bien que toujours assez peu nette, sur un écran mobile placé en avant du premier.

En d'autres termes, la mise au point n'est pas la même pour les rayons centraux et pour les rayons marginaux; elle varie

Fig. 3.



même pour ceux-ci à mesure qu'on s'approche davantage des bords.

Il semble qu'il y ait à ce premier défaut, qui constitue l'aberration de sphéricité, un remède bien simple : arrêter, comme nous l'avons fait tout à l'heure, les rayons marginaux qui viennent troubler l'image : il est bien clair cependant qu'il vaudrait mieux les ramener et les utiliser; car leur suppression enlève à l'image beaucoup de lumière.

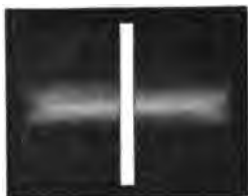
Ce n'est, d'ailleurs, qu'un remède assez médiocre, qui n'a plus aucune efficacité si nous considérons le cas des rayons obliques.

Prenons toujours comme objet la croix lumineuse, mais inclinons la lentille en la faisant tourner autour d'un axe vertical, par exemple, de manière que les rayons soient fortement obliques par rapport à l'axe optique : nous ne pouvons plus mettre au point que l'une des branches à la fois (*fig.* 4) : encore cette mise au point est-elle très relative, l'aberration

de sphéricité intervenant toujours, plus encore même que la première fois.

Couvrons, comme tout à l'heure, les bords de la lentille : les images deviennent un peu plus nettes, mais la mise au point est toujours différente pour les deux branches : l'image est toujours dédoublée, et ce dédoublement, qui est d'autant plus marqué que les rayons sont plus obliques sur l'axe de la lentille, constitue un deuxième mode d'aberration, l'*astigmatisme*, dont la suppression des rayons marginaux ne nous affranchit nullement, et que nous ne pouvons éviter car, en

Fig. 4.



Photographie, nous avons absolument besoin d'admettre dans l'objectif des faisceaux très obliques.

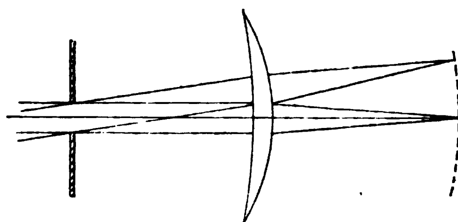
Les deux défauts que nous venons d'observer, aberration de sphéricité et astigmatisme, varient d'importance avec la forme de la lentille employée; malheureusement, la forme la plus convenable à la correction de l'astigmatisme n'est pas du tout celle qui se prête le mieux à la destruction de l'aberration de sphéricité.

Cependant, en modifiant le mode d'emploi du diaphragme, en le plaçant à quelque distance de la lentille et en donnant à celle-ci une forme convenable, nous arriverions, par une sorte de cote mal taillée, à atténuer à la fois les deux causes de trouble. La disposition à adopter s'impose d'elle-même : il faut que, pour chaque point de l'objet, le faisceau admis ne comprenne que des rayons peu obliques les uns par rapport aux autres, afin de réduire l'aberration de sphéricité : il faut aussi que chaque faisceau rencontre aussi normalement que possible les surfaces réfringentes, en vue d'éviter l'astigma-

tisme : nous prendrons donc une lentille en forme de ménisque tournant sa concavité vers la lumière, et nous placerons le diaphragme à une certaine distance en avant (*fig.* 5).

Cette disposition, qui consiste à employer des lentilles en forme de ménisque et à produire par le diaphragme une loca-

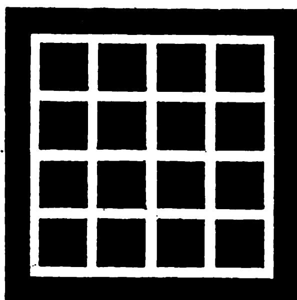
Fig. 5.



lisation des faisceaux, de manière à affecter à chacun d'eux une portion limitée et convenablement orientée de la lentille, nous la retrouverons partout dans les objectifs. Mais, appliquée à une lentille unique, elle ne constitue qu'un demi-remède : d'abord, si elle atténue le mal, elle ne le supprime pas; elle nous force à n'avoir que des images très peu lumineuses; et enfin, chose plus grave, elle nous amène un nouveau genre d'aberration : elle a, en effet, pour conséquence une déformation des images.

Prenons comme objet un réseau formé par deux systèmes

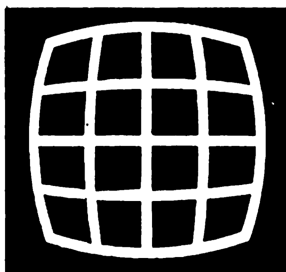
Fig. 6.



rectangulaires de lignes parallèles (*fig.* 6) : la lentille nous en

donne, nous le savions, une image trouble; interposons un diaphragme entre l'objet et la lentille, à quelque distance de celle-ci; l'image devient plus nette, mais les lignes présentent

Fig. 7.



une courbure qui tourne sa concavité vers le centre et qui s'accentue à mesure qu'on s'approche des bords de l'image (*fig.* 7) : il y a *distorsion*. Cette distorsion, qui est dite *en barillet*, augmente si nous écartons le diaphragme de la lentille;

Fig. 8.



si nous le plaçons entre celle-ci et l'écran, la déformation change de sens, la courbure des lignes tourne vers le centre sa convexité; nous avons la *distorsion en croissant* (*fig.* 8).

Nous avons jusqu'ici écarté systématiquement une des

causes de trouble des images. Si nous revenons maintenant, en nous servant de nouveau de lumière blanche, aux conditions normales de la Photographie, les irisations reparaissent naturellement. Elles proviennent de ce que les rayons diversement colorés qui constituent la lumière blanche sont, par une même lentille, différemment réfractés : chaque couleur donne de l'objet une image, et comme il y a en somme une infinité de couleurs, nous avons une infinité d'images, qui ne se superposent pas. Pour rendre le phénomène plus net, je vais faire tomber sur une lentille un faisceau de lumière parallèle, dont, au moyen d'un diaphragme, je ne laisserai passer à travers la lentille qu'une portion annulaire assez étroite. En mettant au point, j'obtiens sur l'écran une tache unique, irisée : en ce moment les divers faisceaux réfractés sont coupés au voisinage de leurs sommets; j'écarte la lentille, j'ai sur l'écran une tache circulaire dont le bord extérieur est bleu, le bord intérieur rouge : c'est que les sommets des divers faisceaux coniques sont maintenant en avant de l'écran; c'est le cône des rayons rouges, moins réfractés que les autres, qui a son sommet le plus près de l'écran et qui par suite possède quand il le rencontre la plus petite section. Si nous revenons au foyer et le dépassons, nous avons encore une tache annulaire, mais où le rouge est à l'extérieur, le bleu à l'intérieur; cette fois les sommets sont derrière l'écran, et c'est celui des rayons rouges qui en est le plus éloigné, celui des rayons bleus le plus rapproché.

A ce défaut, qui constitue l'aberration de réfrangibilité, le diaphragme ne peut rien; la forme de la lentille ne peut pas grand'chose non plus.

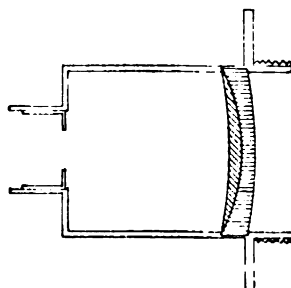
Si bien qu'en somme une lentille unique, même de la forme la plus convenable, même munie d'un diaphragme convenablement placé, ne peut nous fournir une bonne image.

Et c'est ainsi que nous sommes amenés à compliquer notre système optique pour essayer de trouver de ce côté la solution qui nous échappe.

II.

Nous pourrions à la rigueur nous contenter d'une lentille double : les aberrations de sphéricité et de réfrangibilité étant de sens contraires dans une lentille convergente et dans une lentille divergente, nous pouvons corriger l'une par l'autre deux lentilles de types contraires. Il est toujours possible, en associant deux lentilles de verres donnés, différents, d'obtenir un système de distance focale donnée qui soit, du moins dans la direction de l'axe, aplanétique, c'est-à-dire affranchi de l'aberration de sphéricité, et achromatique pour deux couleurs

Fig. 9.



données, c'est-à-dire qui forme, pour ces deux couleurs, des images exactement superposées. La correction ne sera pas complète en ce qui concerne les autres couleurs, mais elle sera suffisante si l'on a fait un choix convenable.

Nous pouvons même, grâce à la latitude que nous avons dans le choix des verres, imposer à cette lentille certaines conditions; donner par exemple la même courbure aux faces en regard des deux éléments, ce qui permettra de les coller; donner au système tout entier une forme propice à la correction de l'astigmatisme, c'est-à-dire, pour les raisons que nous avons dites tout à l'heure, la forme d'un ménisque, à courbures

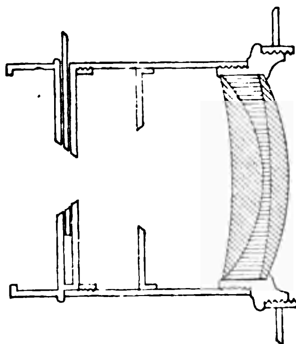
d'autant plus fortes que, pour avoir un champ plus étendu, nous voudrons admettre des faisceaux plus obliques.

Mais il faudra toujours prendre un petit diaphragme, et nous aurons des images peu lumineuses; le souci de l'astigmatisme ne nous permettra pas de rapprocher autant que nous le voudrions ce diaphragme de la lentille, et nous aurons une distorsion très sensible.

C'est pourtant ainsi qu'étaient construits les premiers objectifs, ceux que nous appellerons *Objectifs simples de type ancien* (*fig.* 9).

En employant trois lentilles au lieu de deux, nous pourrons

Fig. 10.



avoir des corrections beaucoup meilleures, et par suite agrandir et rapprocher le diaphragme : c'est ainsi que sont construits les nouveaux objectifs simples, dont le type est le *Landscape lens* de Dallmeyer (*fig.* 10). C'est avec un instrument de ce genre que mon ami M. Ducom a obtenu les belles photographies que je vous montre.

La distorsion ne s'y fait plus guère sentir, elle est cependant visible sur les bords du champ.

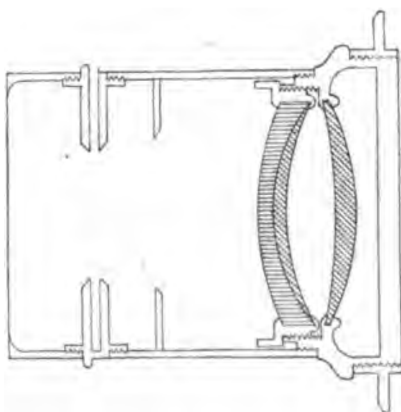
A ce point de vue, une amélioration est encore obtenue dans l'*Objectif rectilinéaire pour vues* de Dallmeyer (*fig.* 11), dans lequel la troisième lentille est séparée des deux autres; ce n'est d'ailleurs plus à vrai dire un objectif simple.

Mais dans tout ceci nous avons atténué les effets de la dis-

torsion, nous les avons pour ainsi dire éloignés de l'axe, mais nous n'avons pas pu les supprimer; ils ne peuvent l'être en effet que par une compensation, ce qui exige l'emploi d'un objectif double, formé de deux combinaisons, qui, si l'on place le diaphragme entre elles, donneront des distorsions de signe contraire.

Ce n'est pas le seul avantage que présente l'objectif double: il demandera, pour la même distance focale, des courbures

Fig. 11.



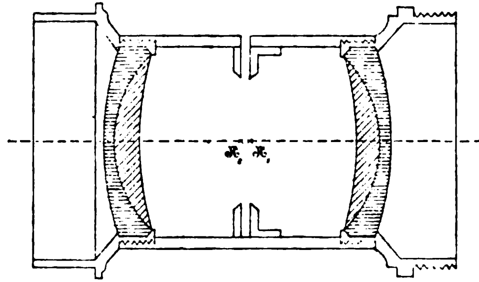
bien moins prononcées que l'objectif simple; on aura par suite des aberrations beaucoup moindres et beaucoup plus faciles à corriger.

La solution la plus simple, et c'est en effet la plus commune, consiste à prendre deux combinaisons identiques symétriques par rapport au diaphragme; elles doivent être isolément corrigées des aberrations de sphéricité et de réfrangibilité. Par le fait même de la symétrie, la distorsion sera complètement supprimée. D'ailleurs, la forme et la distance des deux combinaisons varieront suivant le but proposé; le type primitif, le type normal, pour ainsi dire, celui que nous trouvons dans l'*Aplanat* de Steinheil (*fig.* 12) ou dans le *Rectilinéaire rapide* de Dallmeyer se déformera suivant les besoins.

Voulons-nous beaucoup de champ? Comme l'instrument

devra laisser passer des faisceaux très obliques, il nous faudra rapprocher les lentilles et augmenter leurs courbures; il en résulte bien évidemment une diminution du diamètre des len-

Fig. 12.



tilles et une plus rapide encore de l'ouverture du diaphragme, les aberrations devenant plus difficiles à corriger.

Les objectifs représentés (*fig.* 13 et 14) sont de même

Fig. 13.

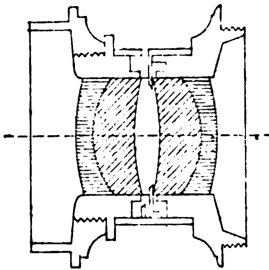
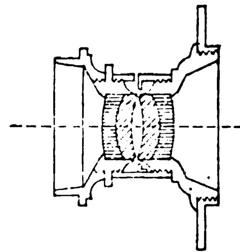


Fig. 14.



marque et de même distance focale que l'aplanat (*fig.* 12); ils sont représentés à la même échelle : l'angle de champ va en croissant du premier au troisième, la déformation progressive est, on le voit, considérable.

Voulons-nous, au contraire, avoir un objectif à portraits? Nous avons besoin d'une grande ouverture; il faut donc que les aberrations puissent être facilement corrigées : nous dimi-

nuons les courbures et nous écartons les lentilles, réduisant ainsi le champ, dont nous n'avons que faire.

Le type symétrique est donc un de ceux qui se prêtent aux usages les plus variés. Même un seul objectif, de type moyen, peut servir au photographe, à l'amateur plutôt, à peu près dans tous les cas; je vais, pour vous le montrer, faire passer sous vos yeux une série de photographies prises un peu partout, avec un petit objectif de Darlot monté sur un appareil à main.

Et cependant le type symétrique laisse encore à désirer : nous ne pouvons y corriger l'astigmatisme qu'à la condition de laisser une certaine courbure à l'image d'un objet plan; nous n'aurons, à toute ouverture, la netteté sur les bords de l'image qu'en la perdant au centre : il nous faudra donc, pour avoir une netteté générale, augmenter, par une diminution du diaphragme, la profondeur de foyer.

Dans ces dernières années, le Dr P. Rudolph, d'Iéna, a pu, à la suite de mesures méthodiques, apporter à ce mal un remède efficace : il a montré qu'il fallait pour cela sacrifier la symétrie, et qu'en associant deux combinaisons convergentes, isolément aplanétiques et achromatiques, mais présentant dans leur formation une sorte particulière d'inversion, on pouvait obtenir une bonne correction de l'astigmatisme avec une surface focale bien plane.

Voici en quoi consiste cette inversion. On sait que deux verres de nature différente réfractent de manière inégale, toutes choses égales d'ailleurs, un rayon de couleur donnée, jaune par exemple : la déviation du rayon transmis croît avec ce qu'on appelle l'*indice de réfraction* du verre; mais, de plus, ces deux verres différents, décomposant un pinceau de lumière blanche, donnent des spectres d'inégale étendue, où les distances relatives des diverses couleurs ne sont pas les mêmes; c'est ce que nous allons montrer immédiatement en faisant tomber sur un polyprisme les rayons venant d'une fente étroite parallèle aux arêtes. De là une seconde caractéristique de la nature du verre, à savoir le *pouvoir dispersif*, dont nous reparlerons tout à l'heure de façon plus précise.

D'après les travaux du Dr Rudolph, il faut que, dans l'une

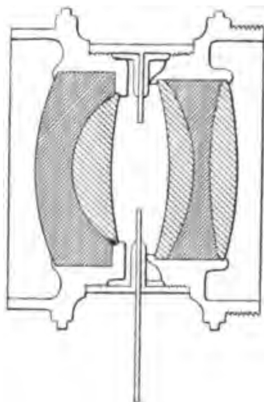
des combinaisons achromatiques, le verre dont l'indice de réfraction est le plus grand possède aussi le plus grand pouvoir dispersif : cela, c'est ce qui a lieu presque toujours; mais il faut que ce soit le contraire dans l'autre combinaison, et que le verre de plus grand indice y ait le plus petit pouvoir dispersif : ceci est plus difficile et ne peut être obtenu qu'avec des verres spéciaux; j'entends dire par là des verres rarement employés, car je crois qu'il n'est pas absolument nécessaire d'aller à Iéna pour les prendre et qu'en cherchant bien à Paris, du côté des Gobelins, on finirait par en trouver.

Les objectifs ainsi construits par C. Zeiss peuvent recevoir, pour une même distance focale, une ouverture très notablement plus grande que ceux du type symétrique. Ils ont donc, à netteté égale, une clarté plus grande.

Ils ont reçu le nom d'*Anastigmats*, pour indiquer qu'ils réalisent de façon spéciale la correction de l'astigmatisme.

Je vous montrerai d'abord un anastigmat à grande ouver-

Fig. 15.



ture (*fig.* 15); la lentille postérieure, celle qui est de constitution anormale, est ici formée de trois verres au lieu de deux, en vue surtout d'un achromatisme plus parfait.

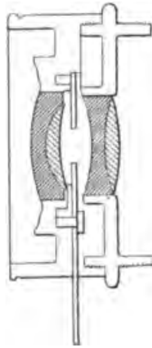
Il est assez lumineux pour que mon ami M. Mareschal ait pu, sur ma demande, essayer de faire en photographie instan-

tanée un tableau du ballet de *Michel Strogoff :* je vous montre ici cette photographie prise d'une loge de face pendant la représentation, avec un anastigmat de Zeiss $\frac{1}{7,2}$ muni d'un obturateur ; je ne crois pas qu'un tel résultat ait été obtenu jusqu'ici.

Bien que les deux combinaisons ne soient pas symétriques, on peut, en donnant au diaphragme placé entre elles une position convenable, éviter toute distorsion.

Voici maintenant la coupe d'un anastigmat à très grand

Fig. 16.



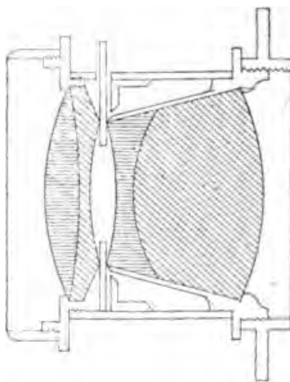
angle (*fig.* 16), (ici la lentille postérieure est seulement double) et une série de vues prises par M. Ducom avec un objectif de ce genre.

Pour moi, la disposition indiquée par M. Rudolph constitue un progrès très sensible.

On avait déjà employé des systèmes dissymétriques : en voici un assez bizarre, l'*Antiplanat* de Steinheil (*fig.* 17) ; le principe de sa construction, du moins tel qu'il est énoncé dans le brevet, consiste à avoir deux lentilles doubles, présentant isolément des défauts très graves, mais de sens contraires et se compensant exactement ; or, au point de vue de la méthode, il est clair qu'on doit chercher à rendre le plus petites possible les erreurs que l'on veut compenser les unes par les autres.

Il y a lieu d'ailleurs de remarquer que la lentille postérieure,

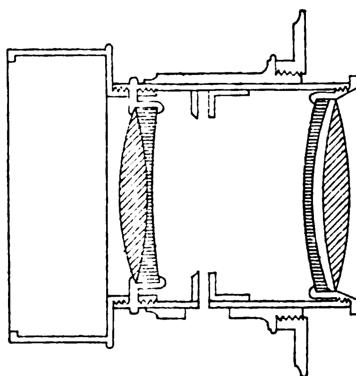
Fig. 17.



annoncée comme divergente dans le brevet, est en réalité convergente.

Je vous montre encore un autre exemple de système dissymétrique : l'*Objectif double à portraits* de Petzval (*fig.* 18);

Fig. 18.



c'est un des premiers types qui aient été construits, et s'il a été, depuis son apparition, beaucoup amélioré, ce n'a été que par des modifications qui n'en changeaient pas le principe. On

a, dans cet instrument, sacrifié les bords de l'image pour avoir une portion centrale qui fût bonne, même à toute ouverture. Cet objectif ne couvre qu'une étendue très petite, et il faut, pour avoir des épreuves de grandes dimensions, employer des instruments de taille exagérée.

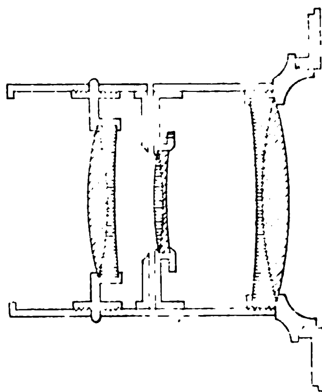
En raison même de son ouverture, l'objectif à portraits manque de profondeur de champ : c'est ce que vous montre une photographie qu'a bien voulu mettre à ma disposition M. le commandant Fribourg.

On tend à renoncer à ce type : les progrès qui ont été faits dans la préparation des plaques sensibles permettent maintenant de faire des portraits, même à l'atelier, avec des objectifs moins ouverts, mais beaucoup mieux corrigés.

Dallmeyer, Voigtländer ont disposé pour cet usage des objectifs symétriques ou à peu près symétriques, et la maison Zeiss prépare de nouveaux anastigmats : c'est de ce côté qu'il faut chercher, et le problème me semble relativement facile, l'objectif à portraits n'ayant pas besoin d'un grand angle de champ.

Enfin on a eu recours à des dispositions encore plus com-

Fig. 19.



plexes que celles que nous venons de passer en revue : je veux parler des *triplets*, qui comprennent trois combinaisons; voici (*fig.* 19) la coupe du *Triplet* de Dallmeyer. Ces types

Paris; on n'avait pas su les utiliser, mais nous étions à ce point de vue plus riches qu'on ne le croit.

Pour connaître complètement un verre, il faut déterminer avec soin ses deux caractéristiques : l'indice de réfraction et le pouvoir dispersif; l'indice se prendra pour une couleur déterminée, le jaune par exemple; le pouvoir dispersif, pour la région comprise entre les deux couleurs que l'on veut achromatiser.

Cette étude se fait sur un prisme taillé dans le bloc de verre, et au moyen d'un instrument qu'on appelle un *goniomètre.* Je ne vous décrirai pas les opérations à effectuer; j'appellerai seulement votre attention sur un point : la définition exacte de ce que nous appelons une couleur.

Frauenhofer a montré l'existence, dans le spectre solaire, de raies noires très fines, disséminées sur toute son étendue, et occupant des positions rigoureusement déterminées; ces raies, dont la série se continue en dehors de la portion visible du spectre, sont extrêmement nombreuses : on en a étudié maintenant environ 4000; mais il y en a quelques-unes de particulièrement saillantes, que l'on a désignées par des lettres : ce sont ces raies qui nous serviront à définir de façon précise une couleur; ou, à leur défaut, les raies brillantes sur fond noir qui constituent le spectre des flammes métalliques ou des gaz : nous vous produisons ici un de ces spectres, celui du cuivre, obtenu en volatilisant un peu de ce métal dans l'arc voltaïque.

Dire « le jaune », c'est donner une désignation vague : « le jaune de la raie D » est quelque chose de très bien défini.

Il faudra, d'autre part, s'assurer que le verre est bien homogène et qu'il n'est pas trempé; je n'insisterai pas sur les méthodes qui permettent de faire cette étude.

Voyons maintenant comment on choisira les verres à associer et comment on déterminera les courbures à donner aux faces des lentilles.

Nous nous trouvons ici en présence de deux méthodes contraires.

L'une est purement expérimentale : pour caractériser les verres, elle donne trop d'importance à leur densité; pour la

détermination des courbures, elle s'appuie sur une série de traditions, de lois empiriques fondées sur l'examen d'un certain nombre de bons objectifs. L'opticien qui l'applique construit ainsi une lentille double, qui n'est pas très bonne, mais qu'il étudie et dont il corrige peu à peu les défauts. Il applique la même méthode à l'objectif entier, et arrive ainsi peu à peu, par une série de tâtonnements, à établir un modèle qu'il pourra ensuite reproduire tant qu'il aura les mêmes verres, et qu'il modifiera un peu, toujours de même façon, s'il passe à des verres un peu différents.

Cette méthode expérimentale qui, je me hâte de le dire, donne souvent, entre des mains habiles, d'excellents résultats, est longue et coûteuse; elle devient presque impraticable si, au lieu de partir de données plus ou moins précises, l'opticien veut se mettre résolument à la recherche d'une combinaison nouvelle.

Si, d'ailleurs, la correction par tâtonnements est relativement facile en ce qui concerne l'achromatisme, il n'en est pas de même pour ce qui regarde les autres aberrations.

L'autre méthode est scientifique : elle précise avec soin les données du problème et se sert du calcul pour se rapprocher autant que possible de la solution et limiter le champ des tâtonnements.

Elle exige une connaissance exacte des verres dont on se servira; il faut donc commencer par en déterminer avec précision l'indice de réfraction et le pouvoir dispersif.

Pour les objectifs de Photographie ordinaire, on prendra avec avantage, comme couleurs à achromatiser, le jaune de la raie du sodium, qui correspond à la région la plus brillante du spectre, et le violet de la raie de l'indium, située au contraire dans la région la plus actinique : il s'agit en effet de superposer ce que l'on pourrait appeler l'image optique et l'image chimique. On mesurera donc l'indice de réfraction des verres pour ces deux raies : on en déduira très simplement le pouvoir dispersif pour la région qu'elles comprennent entre elles; il s'obtient, en effet, en divisant la différence des indices correspondant aux deux couleurs par la différence entre l'indice moyen et l'unité.

Supposons, pour fixer les idées, que nous voulions construire un objectif symétrique à grand angle.

Nous avons choisi des verres tels que le rapport de leurs pouvoirs dispersifs soit assez grand; ce qui nous fournira des lentilles achromatiques ayant la forme de ménisques à courbures assez fortes, exigée, comme nous l'avons vu, pour la construction du type désigné.

Nous ferons d'abord un premier calcul, où nous n'introduirons pas l'épaisseur des lentilles, et qui nous indiquera une valeur approchée des courbures à donner aux quatre surfaces de l'une des combinaisons identiques; ces quatre surfaces se réduisent en réalité à trois, puisque deux d'entre elles sont semblables.

Ce calcul peut être fait très rapidement et sans peine grâce à M. Adolphe Martin, qui a traité complètement le problème et établi une équation de forme simple où il nous suffit d'introduire nos données numériques pour avoir les valeurs des rayons de courbure.

Nous obtenons ainsi les dimensions d'une lentille faite avec nos deux verres, qui serait, abstraction faite des épaisseurs, achromatique et aplanétique suivant son axe.

Comme nous n'avons pas le droit de négliger ainsi les épaisseurs, les valeurs obtenues ne sont pas tout à fait exactes : elles nous suffisent cependant à déterminer, au moyen d'une épure, les épaisseurs et les diamètres à donner aux lentilles, et, pour l'objectif entier, l'écartement à laisser entre les deux combinaisons.

Nous cherchons alors les positions réellement occupées par les points de concours que forment, après avoir traversé tout le système, les rayons centraux et les rayons marginaux marchant parallèlement à l'axe; et cela pour les deux couleurs choisies; à cet effet, nous suivons par le calcul un rayon de chaque espèce à travers les surfaces successives : ce calcul se fait par logarithmes, au moyen de formules trigonométriques très simples, en même temps qu'on suit sur l'épure la marche du rayon. En général, nous trouverons que les quatre points de concours ne coïncident pas exactement; nous modifierons alors méthodiquement les valeurs approchées de deux des

courbures jusqu'à ce que le résultat voulu soit atteint : il est bien entendu que la modification devra porter simultanément sur les faces correspondantes dans les deux combinaisons.

Je ne puis naturellement pas insister ici sur la façon dont sera conduit le calcul : la méthode a été, ici encore, très bien établie par M. Adolphe Martin.

C'est la seconde fois, Messieurs, que je prononce ce nom, et vous me permettrez d'en profiter pour exprimer ma profonde vénération au savant qui a tant travaillé pour le progrès de l'Optique photographique. C'était bien à lui que revenait l'honneur de vous exposer la question de l'objectif; malheureusement son état de santé le retient loin de Paris. Je tiens du moins à lui envoyer d'ici mon hommage de disciple reconnaissant.

Nous avons encore des tâtonnements, mais sur le papier; ils nous prennent certainement moins de temps que ceux dont nous parlions tout à l'heure, et ils ne coûtent rien. Et lorsque nous serons arrivés au bout, si nous réalisons l'objectif tel que nous l'avons calculé, il ne nous faudra plus qu'un travail de retouche peu important pour obtenir un instrument qui satisfasse effectivement aux conditions posées. Nous ne nous sommes, il est vrai, préoccupés que de ce qui se passe dans la direction de l'axe; mais si les corrections sont très bonnes au voisinage de l'axe, elles seront suffisantes sur toute l'étendue de l'image, abstraction faite de l'astigmatisme, qu'on pourra éviter en employant la disposition indiquée par le Dr Rudolph; on peut d'ailleurs étudier par un calcul semblable la marche des rayons obliques.

Je ne prétends pas, Messieurs, que le calcul doive tout faire, ni qu'il puisse tout faire; il ne faut lui demander que de nous guider dans nos recherches, et de nous amener assez près du but pour que nous soyons certains de l'atteindre, et de l'atteindre rapidement, après quelques essais : si nous suivons un chemin déjà tracé, il nous raccourcira la route et nous la fera plus sûre; si nous cherchons une voie nouvelle, lui seul nous empêchera de nous égarer, et, si nous sommes dans une impasse, nous le fera voir.

C'est par la méthode scientifique que l'on a fait et que l'on

pourra faire en Optique photographique des progrès réels : c'est grâce à elle que quelques opticiens étrangers ont pris une place si importante dans l'histoire de l'objectif; c'est grâce à elle que les opticiens français pourront reprendre leur suprématie. En ce moment, en France, la méthode expérimentale est, à mon gré, trop en faveur; elle y réussit, parce qu'elle repose tout entière sur l'habileté et sur le flair de celui qui l'applique. Et c'est ainsi que l'opticien français, qui possède souvent ces qualités à un haut degré, arrive à construire, sur un type donné, des instruments qui ne le cèdent en rien à ceux du dehors, et qui leur sont même souvent supérieurs; qu'il arrive même, comme cela s'est vu en particulier pour l'objectif à portraits et pour certains grands angulaires, à améliorer beaucoup des types existants.

Je ne suis pas, je vous l'assure, un détracteur des objectifs français; je sais à quel point certains d'entre eux sont estimés et recherchés même en Allemagne et en Angleterre; je n'ignore pas non plus que nous allons quelquefois acheter fort cher des instruments qui portent une marque étrangère et qui sont fabriqués à Paris.

Mais cela ne saurait nous suffire : il faut créer, si nous voulons reprendre le rang que nous devrions occuper.

Nous avons en France tout ce qu'il faut pour réussir, des opticiens très habiles, et des fabricants de verre qui peuvent leur fournir tout ce dont ils ont besoin; mais entre les deux il faudrait une entente dans laquelle le physicien aurait à intervenir, du moins pour un temps.

Nous parlions tout à l'heure des travaux faits à Iéna et des progrès qu'ils ont permis de réaliser. Mais c'est qu'il y a là réunis une maison d'optique considérable, la maison Zeiss; des physiciens éminents, le Dr Abbe, le Dr P. Rudolph, et une verrerie de premier ordre, la maison Schott. Et l'on arrive par l'union de ces trois forces à ceci, par exemple. Après une série de recherches théoriques confirmées par des essais pratiques, le Dr Rudolph vient dire : « Je puis construire un objectif dans lequel l'astigmatisme sera absolument corrigé, avec une surface focale bien plane. Mais, pour cela, il me faut tel et tel verre, qui n'existent pas; si vous pouvez me les faire,

mes calculs sont prêts, mes courbures déterminées »; et la verrerie cherche. Voilà, Messieurs, comment on fait des progrès.

Or nous pouvons simplifier cette sorte de triumvirat. Je crois que le physicien n'est pas nécessaire. Entendons-nous bien; je veux dire par là que, pour moi, c'est l'opticien qui doit être son propre physicien, et il le peut. Les méthodes de calcul sont simples, et n'exigent pas du tout la connaissance des hautes mathématiques : un peu de trigonométrie élémentaire, et c'est à peu près tout. Et voyez l'avantage de ma combinaison : l'opticien suit, par l'expérience, la marche de son calcul; il va pas à pas, mais à coup sûr; il se rend compte de l'importance des modifications que le calcul lui indique. Il voit, et c'est la chose la plus importante, à quel degré de précision il lui est nécessaire de pousser ses déterminations numériques. C'est parce que M. Adolphe Martin pouvait faire cela qu'il a simplifié et codifié des méthodes étrangères un peu confuses et cherchant quelquefois une précision illusoire. Vous, Messieurs les opticiens, avec votre habileté et votre expérience, vous pouvez encore améliorer singulièrement la méthode scientifique.

Quoi qu'il en soit, que nous les ayons calculées ou déterminées par tâtonnements, nous avons enfin la valeur exacte des courbures de l'objectif que nous voulons réaliser; reste la construction proprement dite.

Un habile opticien, M. Degen, a bien voulu m'assister aujourd'hui et vous faire voir comment s'effectue le travail des verres.

Si les lentilles sont de petites dimensions, on débite dans le verre, que le verrier livre sous forme de plateaux, un morceau de taille convenable; on l'équarrit à la pince; puis, s'il s'agit d'une surface convexe, on donne grossièrement la forme en faisant sauter des éclats avec un instrument qu'on appelle la *pince à fionner*.

Pour les lentilles plus grandes, l'opticien donne au verrier ses courbures et ses épaisseurs, et celui-ci lui livre des lentilles moulées présentant à peu près les courbures voulues. Pour

cela, il débite, dans le bloc de verre étudié, des morceaux ayant le poids que doit avoir la lentille, et il moule ces morceaux.

Il y a deux procédés principaux de moulage : à la pince, et au creuset. Le premier est presque exclusivement employé quand il s'agit de surfaces concaves : le verre, amené au ramollissement dans un four à moufle, est comprimé au moyen d'une pince à levier dans un moule en fonte, puis il est recuit, pour éviter la trempe.

Le second procédé ne peut servir qu'à obtenir des lentilles plan-convexes ou des disques ; le morceau de verre est placé dans un creuset en terre réfractaire et chauffé jusqu'au ramollissement : il se moule alors, par l'effet de son propre poids, sur la forme du creuset. On le laisse refroidir très lentement, toujours pour éviter la trempe. Pour cela, on empile les creusets dans des fours dont on laisse la température s'abaisser d'elle-même, et le verre, protégé de toutes parts par la terre réfractaire, se refroidit très régulièrement.

Ce second moyen est plus coûteux que le premier, mais il me semble plus sûr; il doit donner plus certainement des lentilles bien homogènes : j'avoue que la compression m'effraye un peu.

Supposons donc entre nos mains des masses de verre ayant la forme soit de disques, soit de lentilles plan-convexes.

La taille s'achève au tour. Le tour français se manœuvre de la main gauche : l'ouvrier peut ainsi en commander absolument le mouvement. En Allemagne, on se sert du tour à pédale, et l'on y voit cet avantage que l'ouvrier a les deux mains libres.

Sur les indications de l'opticien, le tourneur a travaillé des outils à surface sphérique, ayant exactement la courbure demandée; ils sont vérifiés soit au calibre, soit au sphéromètre. Ces outils sont en cuivre : ils sont toujours par paire; à chaque *balle* convexe est joint un *bassin* concave, s'adaptant exactement sur lui : on vérifie de temps en temps la concordance des surfaces et la rétablit au besoin en les frottant l'une sur l'autre, avec interposition d'émeri fin. A ces outils de cuivre en sont joints de semblables, en fonte, qui sont moins par-

faits, et qui serviront à dégrossir. Tous peuvent se monter sur le tour.

On commence par ébaucher la lentille, au grès, sur les outils de fonte : pour les surfaces convexes, on prend immédiatement le bassin de forme voulue; pour les surfaces concaves, quand on part de masses à face plane, on commence par se servir de balles à courbure trop faible, « trop jeune », afin de débiter plus de verre.

On travaille ensuite la lentille, fixée avec de la poix sur une molette en liège ou en bois, avec de l'émeri assez gros : on emploie ainsi successivement des émeris dits « une minute », « trois minutes », « cinq minutes ».

La surface étant ainsi ébauchée, on la *doucit*, sur les outils de cuivre, en employant des émeris plus fins, d'abord du « quinze minutes », puis du « trente minutes ». On met sur l'outil une quantité d'émeri très faible, qu'on étale avec le doigt, puis on humidifie avec l'haleine.

Après le doucissage, le verre est un peu noir : on le lave à l'acide sulfurique étendu.

Enfin on *polit*, soit au tripoli, soit à la potée d'étain, soit au rouge d'Angleterre.

Pour cela, on colle sur l'outil une feuille de papier, en évitant tout pli ou tout grain faisant saillie; on frotte le papier avec du tripoli, par exemple, puis on use le verre sur la surface ainsi préparée.

Généralement on polit au tripoli et quelquefois on donne un dernier coup avec la potée d'étain.

Pour les surfaces un peu grandes, ces dernières opérations du doucissage et du polissage se font sur des outils fixes.

La lentille est généralement limitée latéralement par une surface cylindrique : on la travaille en centrant la lentille sur une molette dite *à déborder*, qui est montée sur le tour.

Les lentilles terminées, on forme les combinaisons : les lentilles qui doivent être associées par une face commune sont accolées au moyen de *baume du Canada*. Ce baume ayant un indice de réfraction voisin de celui du verre, on évite ainsi des pertes de lumière par réflexion, au passage de l'une des lentilles à l'autre.

Ce collage se fait à une température d'environ 60°. Avant que le baume se soit solidifié, on s'assure que les deux lentilles sont bien centrées, c'est-à-dire que leurs axes principaux coïncident. Pour cela on monte la lentille sur le tour, ou bien on la pose, par sa face convexe, sur un plan, et on la fait tourner : on regarde les deux images d'un objet brillant, formées par réflexion des rayons sur la face antérieure et sur la face postérieure du système. On déplace au besoin l'une des lentilles, par pression du doigt, jusqu'à ce que les images ne « roulent » pas l'une sur l'autre.

Puis les diverses combinaisons sont fixées sur la monture métallique de l'objectif : là, le centrage est facile, les diverses pièces de la monture étant faites au tour.

J'ai terminé, Mesdames et Messieurs, et il ne me reste plus qu'à vous remercier de l'attention que vous avez bien voulu prêter à cette conférence un peu aride.

Permettez-moi d'espérer qu'elle n'aura pas été inutile. Je serais fort heureux si mon insistance pouvait décider quelques-uns des opticiens qui peut-être sont ici à essayer de ce merveilleux outil qu'est le calcul.

Ils peuvent être sûrs d'ailleurs de trouver les physiciens tout prêts à les y aider de leur mieux. Pour moi, le peu que je sais, ce qu'a bien voulu m'enseigner M. Adolphe Martin, ce que la lecture des ouvrages étrangers a pu m'apprendre, je le leur offre de grand cœur, très heureux si je puis être utile, non pas à des intérêts particuliers, mais à l'intérêt général de l'Optique photographique française.

Je me mets à l'entière disposition de la Chambre Syndicale.



L'ICONOMÉTRIE

ET

LA MÉTROPHOTOGRAPHIE,

CONFÉRENCE DU 28 FÉVRIER 1892

Par le Colonel A. LAUSSEDAT.

> Per varios usus artem experientia fecit,
> Exemplo monstrante viam...
>
> MANILIUS.

MESDAMES, MESSIEURS,

Je n'ai pas, comme mes prédécesseurs, à adresser des remerciements au Directeur du Conservatoire, mais l'occasion est trop naturelle de les remercier eux-mêmes, en votre nom et au nom de ce grand établissement, pour que je la laisse échapper. C'est, en effet, à leur notoriété, à leur autorité, à leur talent d'exposition qu'est dû le succès de l'épreuve que nous avons tous voulu tenter, et si, tôt ou tard — le plus tôt sera le mieux, — nous obtenons une chaire de Photographie, personne ne devra oublier le concours précieux de tant d'hommes éminents venus ici, en faisant le sacrifice de leur temps et de leur jour de repos, pour plaider éloquemment une cause qui devrait être gagnée, qui l'est déjà certainement, je ne crains pas de le dire, dans l'esprit du *grand public*, lequel suit, avec une sympathie croissante, nos efforts communs.

Je voudrais bien, Mesdames et Messieurs, en venant à mon tour aujourd'hui prendre la parole devant vous, contribuer à entretenir cette sympathie, mais je crains de n'y pas réussir aussi complètement que je le désire, d'abord parce que je serai

obligé d'écourter un sujet qui, pour être traité d'une manière suffisante, exigerait beaucoup de temps, et puis parce que vous êtes venus pour entendre parler surtout de *Photographie* et que j'ai à vous entretenir d'autres choses d'un caractère peut-être moins attrayant.

J'y arriverai néanmoins, mais si vous voulez bien vous reporter au titre de ma conférence, vous reconnaîtrez que je ne vous ai point pris en traître et que j'ai, au moins, le mérite de la sincérité.

J'ai annoncé, en effet, que je m'occuperais premièrement de l'*Iconométrie*, c'est-à-dire de l'art de tirer de tableaux, d'images bien dessinées, les dimensions réelles des objets qui s'y trouvent représentés, et seulement après de la *Métrophotographie,* qui est l'art plus récent, comme la Photographie elle-même, de prendre des mesures sur les vues que celle-ci procure si facilement aujourd'hui, qui sont aussi des images et des images de plus en plus parfaites.

Ce que j'aurai dit de l'Iconométrie simplifiera beaucoup ce qui se rapportera à la Métrophotographie, qui en est en quelque sorte le corollaire, avec cette circonstance, tout en faveur de la dernière, qu'elle permet d'atteindre les mêmes résultats, plus complets même, avec une grande économie de temps.

Mais, de ce que je ne vous entretiendrai pas exclusivement de Photographie, s'ensuit-il que j'aie eu tort de me laisser enrôler parmi les photographes? Je me persuade et j'ai l'espoir de vous persuader vous-mêmes que je ne suis pas tout à fait un étranger au milieu d'eux, et il faut bien qu'il en soit ainsi puisque la Société française de Photographie vient de me décerner spontanément le titre de membre d'honneur, distinction à laquelle je suis très sensible et dont je la remercie publiquement.

Je me propose de vous montrer comment on peut utiliser les vues photographiées de monuments ou de paysages pour mesurer ou déterminer des angles, des distances, des différences de niveau, c'est-à-dire toutes les grandeurs dont les géomètres font usage.

Or, si vous voulez bien me permettre de caractériser, d'un seul mot, l'ensemble des opérations des géomètres, des voya-

geurs et même des astronomes, je pourrais dire surtout des astronomes, à part les mesures directes de distances ou de différences de niveau que l'on exécute péniblement à la surface du sol, en évitant de les trop multiplier, je n'aurai qu'à prononcer celui de *perspective,* car ces opérations se rattachent toutes fatalement à cet art ou à cette science, comme il vous conviendra de la désigner.

Notre nature ne nous permet, en effet, de saisir les objets plus ou moins éloignés qu'à l'aide de l'organe de la vue et de points successifs où nous pouvons nous transporter et que l'on appelle précisément des *points de vue.*

Toutes ou presque toutes les opérations auxquelles je fais allusion sont donc, en définitive, des *transformations de perspectives* conduisant à la détermination géométrique des positions relatives des objets que l'on découvre de points de vue différents.

Ordinairement, chacune des perspectives se forme seulement sur la rétine de l'observateur pendant l'instant fugitif où celui-ci prend ses mesures, et elle s'évanouit aussitôt qu'il quitte un point de vue, une station, pour se rendre à une autre où les mêmes phénomènes se produisent.

On pressent tout de suite, d'après cette simple remarque, combien il pourrait être utile à l'opérateur d'avoir fixé ces perspectives par le dessin pour y retrouver, au besoin, des points ou des détails oubliés, reconnaître ceux qu'il aurait mal désignés, confondus avec d'autres, enfin pour conserver les différents aspects de la localité, du monument qu'il avait à explorer ou à relever.

Vous voyez, Mesdames et Messieurs, que je vise ici les topographes, les architectes, les archéologues et les voyageurs en général; mais l'Iconométrie et surtout la Métrophotographie ont un domaine beaucoup plus vaste, et si nous nous attachons à cette dernière, n'avez-vous pas remarqué, pendant les précédentes conférences, combien de fois on a eu recours à la Photographie pour effectuer les mesures les plus délicates.

La *Chronophotographie,* par exemple, n'a-t-elle pas pour objet essentiel d'observer les mouvements de toute nature en

fonction du temps, comme disent les géomètres, et les appareils du D[r] Marey ne sont-ils pas de merveilleux instruments de mesure que nul n'aurait pu rêver de réaliser sans la Photographie.

En vous montrant les taches, les facules et les protubérances du Soleil, M. Janssen n'en a-t-il pas comparé les dimensions avec celles de l'astre lui-même ou avec celles de notre planète? Et, à propos du phénomène des passages de Vénus sur le disque lumineux du Soleil, M. Cornu ne vous a-t-il pas dit dans quel but ont été entrepris les lointains et pénibles voyages de 1874 et 1882 pour photographier ces phénomènes, à savoir : *mesurer* la distance de la Terre au Soleil.

Je ne tarirais pas, et qu'il s'agisse des espaces insondables à la vue humaine, même armée des plus puissants télescopes, que la Photographie explore, est seule capable d'explorer pour dresser une carte du ciel d'un intérêt immense et sans précédent, ou de ces myriades d'objets imperceptibles étudiés par les micrographes, naturalistes purs ou pathogénistes, tous les efforts des savants secondés par la magie de la Photographie, qui est venue si puissamment en aide à nos autres moyens d'investigation, tendent toujours vers le même but : connaître ce qui nous entoure de près ou de loin, les grandeurs des corps, leur structure, les lois de leurs mouvements et de la vie pour ceux qui sont animés, en un mot tous les secrets de la Nature, cette charmeuse qui semble se complaire à solliciter notre curiosité, sans jamais pleinement la satisfaire.

Rassurez-vous, Mesdames et Messieurs, mon ambition ne s'élève pas si haut, et si j'ai cru devoir vous rappeler que la Photographie était un instrument de mesure admirable entre les mains des astronomes, des physiologistes et des micrographes, je n'ai, en aucune façon, aujourd'hui, l'intention de suivre dans le ciel mes deux illustres prédécesseurs dans cette enceinte, qui vous ont si pertinemment entretenus de ces grandes questions, et en redescendant sur notre planète, après avoir renoncé aux infiniment grands ou distants, je ne m'attaquerai pas non plus aux infiniment petits dont le savant M. Duchesne vous entretiendra d'ailleurs dimanche prochain.

Je viens de vous le faire pressentir tout à l'heure, je veux

me placer dans les conditions les plus habituelles d'un simple voyageur, dessinateur ou photographe, et je restreindrai encore mon rôle, car je ne rapporterai pas de portraits; je ne ferai même que mentionner fort succinctement la manière de relever les monuments à l'aide de leurs perspectives, familière à nos architectes, pour insister sur une méthode qui n'est plus très nouvelle, mais qui n'est pas assez répandue en France où elle a cependant pris naissance, tandis qu'elle commence à devenir usuelle dans quelques-uns des pays voisins. L'objet de cette méthode est de *construire, d'après des vues de paysages dessinées ou photographiées, le plan du terrain représenté, en y figurant le relief et tous les accidents du sol,* comme on le fait sur les cartes topographiques les plus détaillées.

Je ne veux ni ne dois entreprendre de traiter devant vous les problèmes de la perspective; et c'est pour cela que je ne ferai qu'indiquer, en quelques mots, celui de la *restitution des plans et des élévations des monuments* dont on a une ou plusieurs vues dessinées ou photographiées. Un de mes collègues au Conservatoire, M. le professeur Rouché, qui traite en détail toutes ces questions dans son cours de Géométrie descriptive, y consacre une année entière.

La construction des plans topographiques, comprenant même le figuré du terrain, est heureusement beaucoup plus simple, et j'espère pouvoir, en quelque sorte, vous la faire toucher du doigt, mais j'ai cependant besoin, pour cela, de vous rappeler quelques définitions essentielles.

Sur la figure que je vous montre (*fig.* 1), ne considérez, en ce moment, que le tableau plan vertical.

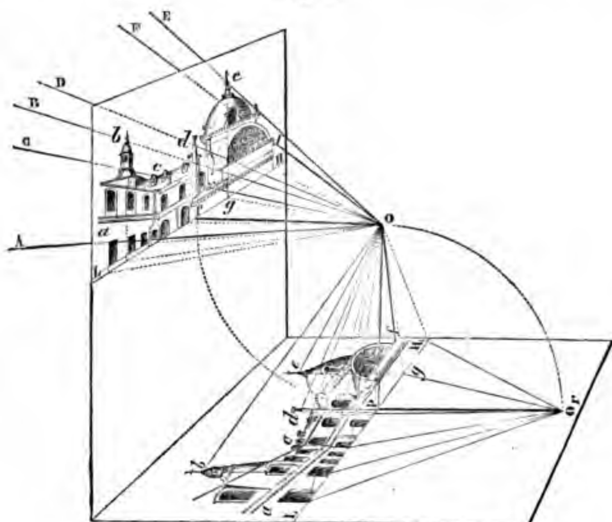
Le point O où l'œil est supposé placé est le *point de vue;* le pied P de la perpendiculaire abaissée sur le plan du tableau se nomme le *point principal* de la perspective, et la trace LH du plan horizontal passant par le point de vue, sur le plan du tableau, est la *ligne d'horizon.*

Le plan vertical qui passe par le point de vue porte aussi le nom de *plan principal.*

Le tableau vertical que nous supposerons représenté par une vitre ou une gaze transparente étant placé devant un monument ou un paysage, si l'on imagine un diaphragme fixé au

point de vue, on comprend qu'il sera possible de dessiner les perspectives et même de les peindre avec un pinceau et des couleurs. *Léonard de Vinci* et *Bramante* ont parlé, dans leurs Ouvrages, de ce procédé, et les peintres du xve et du xvie siècle l'ont employé ou remplacé par d'autres moyens mécaniques plus ou moins ingénieux ([1]). Enfin, pendant la seconde moitié

Fig. 2.



du xvie, le physicien italien *Porta* imagina la chambre obscure qui devait donner naissance à la Photographie.

Je reviendrai tout à l'heure sur un autre instrument propre à faciliter le dessin des perspectives exactes, géométriques, beaucoup plus récent, mais je dois auparavant expliquer comment les peintres et les architectes ont été amenés à créer ce que l'on a appelé le *trait perspectif*.

Tant qu'il ne s'agit que de reproduire un paysage naturel ou

([1]) Nous avons projeté des gravures d'*Albert Durer*, de 1525, de *Wren*, le célèbre architecte anglais, etc., que nous ne croyons pas devoir reproduire ici et que le lecteur retrouverait dans le *Magasin pittoresque*, année 1844.

un monument existant, l'on peut recourir aux instruments, aux procédés mécaniques dont il vient d'être question, mais pour composer un tableau ou pour faire le projet d'un édifice et pour se rendre compte de l'effet qu'il produira, une fois construit, il n'y a pas d'autre moyen que de recourir à la Géométrie.

Pour les peintres, il existe bien un certain nombre de règles assez faciles à appliquer à la mise en place, à la diminution de la taille de personnages, d'animaux, d'objets dont les formes sont familières, à mesure qu'ils sont plus éloignés du spectateur, mais, dès qu'il s'agit de représenter des constructions, monuments, fabriques, etc., les peintres comme les architectes doivent savoir les mettre en perspective, d'après le plan géométral et les élévations de ces édifices dessinés à une échelle déterminée.

L'art qui sert à les guider et qui porte le nom de trait perspectif, comme je viens de le rappeler, est fondé sur un petit nombre de principes géométriques très simples, aperçus d'abord par des artistes italiens du XVe siècle, éclaircis peu à peu et devenus de plus en plus faciles à appliquer, en même temps que plus rigoureux.

Quelques-uns de ces principes sont familiers à tout le monde. Ainsi, sur un tableau vertical, toutes les perspectives de lignes droites verticales sont elles-mêmes verticales.

De même, les lignes droites horizontales parallèles au tableau sont horizontales en perspective, c'est-à-dire parallèles à la ligne d'horizon sur le tableau.

Enfin, tous les autres groupes de droites horizontales parallèles entre elles ont pour perspectives des droites qui convergent en un point de la ligne d'horizon qu'on nomme leur *point de fuite*. Ce point de fuite se confond avec le point principal pour les droites perpendiculaires au plan du tableau.

Ces principes se démontrent très facilement par la Géométrie; ils se trouvent d'ailleurs vérifiés sans cesse sur les photographies des monuments, qui, généralement, présentent un grand nombre de lignes verticales et horizontales.

[On a fait projeter, à ce propos, un grand nombre de vues

d'édifices prises dans les trois conditions bien connues de *vues de front*, *vues obliques* et *vues sur l'angle* qui mettent en évidence les principes en question.

Comme application du trait perspectif, on a également fait projeter l'épure de la perspective de l'*arc de Thésée*, d'après le plan géométral et le profil de ce monument, exécutée à l'École des Beaux-Arts, sous la direction du professeur de Géométrie descriptive, M. *Julien*.]

Ce trait perspectif est fort ancien, je le répète, et le problème inverse de la restitution des plans et des élévations des édifices, à l'aide de leurs perspectives dessinées correctement par les procédés mécaniques dont je viens de parler, s'est présenté naturellement à l'esprit des artistes qui étudiaient les monuments anciens. Les constructions graphiques à exécuter étaient les mêmes, en intervertissant l'ordre dans lequel on devait les exécuter. C'est ce qu'il est facile de constater sur les dessins que je mets sous vos yeux et que je dois à l'obligeance de M. *Julien* (¹).

Il y a longtemps que les architectes et les archéologues français appliquent ces méthodes au levé des monuments, et l'on est étonné de voir que certains étrangers croient en avoir eu l'idée, à propos de l'emploi de la Photographie, qui a simplement augmenté le nombre des opérateurs dont quelques-uns, il faut le reconnaître, se sont ingéniés pour utiliser plus rapidement encore les nombreux documents recueillis par eux, au cours d'un voyage plus ou moins prolongé.

C'est ainsi que le savant voyageur français, M. *Gustave Le Bon*, l'auteur bien connu de l'histoire de la civilisation arabe, de celle des civilisations de l'Inde, etc., a, depuis plusieurs années, songé à tirer des photographies qu'il prenait dans les pays très curieux qu'il parcourait, tous les renseignements qu'elles renferment concernant les véritables dimensions des monuments représentés.

Pour ne citer que l'Inde, M. le Dr *Le Bon* a pu, en six mois,

---

(¹) Ces dessins représentaient la restitution du plan des *Thermes de Julien*, à Paris, et celle de plusieurs monuments intéressants et bien connus de la Grèce et de Rome.

prendre des mesures précises sur une centaine de monuments disséminés sur 4000 lieues de territoire.

Je mets sous vos yeux quelques clichés que M. le Dr *Le Bon* a bien voulu me confier et qui vous donneront une idée de l'intérêt que présente l'étude de semblables documents.

Ce que vous ne voyez peut-être pas sur ces photographies (1), mais que le Dr *Le Bon* y retrouve aisément, parce qu'il sait où les chercher, ce sont les images de petits mètres pris dans le commerce et distribués verticalement sur plusieurs points de chacun des édifices pour obtenir immédiatement les distances de ces points à la station de son appareil photographique. En tenant compte de leur position sur le cliché, avec cette distance qui se déduit de la distance focale de l'objectif et la grandeur apparente du mètre sur le cliché, par un calcul très simple que nous retrouverons plus loin, il est en état de mesurer également les détails de l'architecture.

Le Dr *Le Bon* s'est aussi occupé des moyens de faire servir les photographies aux levers topographiques, en joignant à son bagage un instrument de mesures angulaires très portatif dont il a donné la description dans un Ouvrage destiné à servir de guide aux voyageurs. Il m'a fait l'honneur de recourir à la méthode que j'ai proposée, en disant de qui il la tenait, ce dont je le remercie, d'autres, avant et après lui, ayant cru pouvoir se dispenser d'en faire autant.

J'ai le devoir, de mon côté, de reconnaître que cette méthode, dont j'ai à vous entretenir, m'a été inspirée par l'étude des travaux du grand ingénieur-hydrographe *Beautemps-Beaupré*. Je vais m'efforcer de vous en donner une idée exacte.

Il y a longtemps que les cartes marines sont accompagnées de vues de côtes destinées généralement à indiquer les passes pour entrer dans les ports. Je fais mettre sous vos yeux un certain nombre de ces vues dont la plupart sont précisément de Beautemps-Beaupré ou de ses collaborateurs immédiats (2).

---

(1) Nous sommes obligés de renoncer à reproduire la plus grande partie des clichés qui ont été projetés, faute d'espace.

(2) On se borne ici à donner un spécimen de ces vues de côtes extrait du principal Ouvrage de Beautemps-Beaupré publié en 1808.

Il y a lieu de faire deux remarques importantes, au sujet des vues de côtes dessinées du large, dans les conditions où l'on se trouvait jusque dans ces derniers temps.

En premier lieu, pour peu que l'on fût assez éloigné, le bord de la mer, le long de la côte, pouvait servir de ligne d'horizon (1), ce qui était un avantage sur les vues dessinées à terre où il fallait déterminer cette ligne et y assujettir les croquis que l'on exécutait.

Mais, d'un autre côté, on ne pouvait pas songer, d'un point mobile, à se servir de procédés mécaniques pour dessiner des vues exactes et l'on était obligé de recourir aux mesures angulaires prises avec un instrument à réflexion. Il est intéressant de constater, d'après Beautemps-Beaupré lui-même, que c'est l'invention du *cercle à réflexion de Borda* qui lui a suggéré l'idée d'employer les vues de côtes, sur lesquelles il pouvait inscrire rapidement les angles mesurés, à la construction des plans et des cartes (2).

A terre, on n'avait pas spontanément la ligne d'horizon, mais on pouvait la déterminer facilement et recourir en outre aux appareils mécaniques pour exécuter des vues aussi exactes, aussi détaillées qu'on le voulait; ce n'était plus qu'une affaire de temps.

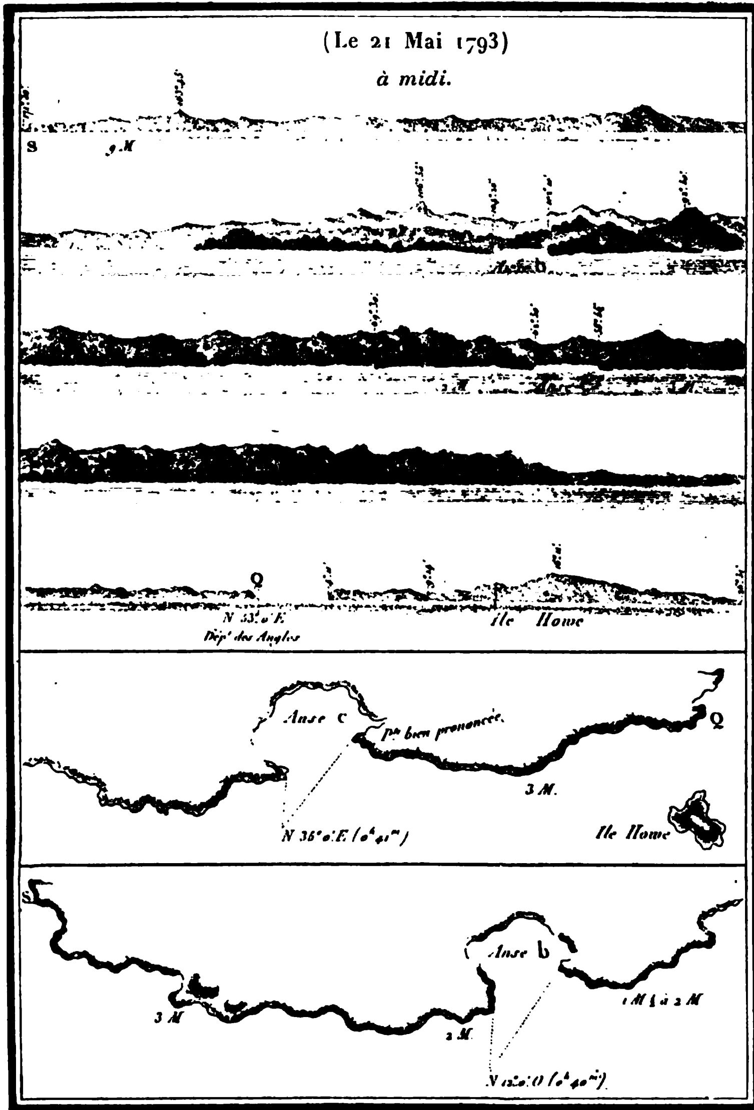
Cependant, depuis 1793, époque à laquelle fut imaginée la méthode, ou même depuis 1808, date de sa publication, celle-ci ne s'était répandue ni parmi les voyageurs ni chez les militaires qui sont si souvent placés dans les mêmes conditions que les marins, c'est-à-dire obligés de faire des reconnaissances rapides au lieu de lever le terrain par des procédés rigoureux, mais nécessairement lents.

Beautemps-Beaupré s'en plaignit en 1846, à l'occasion de l'intéressant voyage fait en Abyssinie par deux officiers d'état-major, MM. *Galinier* et *Ferret*. A la même époque, un officier supérieur du génie, le *commandant Leblanc* tentait d'appliquer

(1) A la condition toutefois de tenir compte de la dépression de cet horizon et de la hauteur du pont du bâtiment au-dessus de la mer.

(2) Parce qu'il n'était pas obligé, comme auparavant avec le sextant, de revenir au zéro pour chaque mesure.

Fig. 2.



Gravé par E. Collin.

FAC-SIMILÉ RÉDUIT

d'une planche de l'Ouvrage de Beautemps-Beaupré intitulé :

Méthode pour la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques.

Paris, Imprimerie impériale : 1811.

la méthode nouvelle et même de l'enseigner en 1848 à l'École Polytechnique; de mon côté, le rapport d'*Arago*, dans lequel se trouvaient exprimés le regret et le vœu de *Beautemps-Beaupré*, publié dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, m'étant tombé entre les mains, j'avais cherché et j'étais parvenu à me procurer les instructions de l'éminent ingénieur.

Mes premiers essais entrepris, dès cette époque, dans les Pyrénées occidentales, où j'étais chargé d'études topographiques sur la frontière, furent faits au moyen de vues dessinées à main levée sur lesquelles j'inscrivais les angles ou même des longueurs mesurées sommairement par le procédé familier aux artistes, en interposant mon crayon ou un double décimètre, tantôt horizontalement et tantôt verticalement, à la longueur de mon bras, entre mon œil droit et le paysage.

Les résultats ainsi obtenus étaient passables, mais je sentais que la difficulté de dessiner correctement le paysage, à moins de devenir un artiste consommé, s'opposait à la perfection que je rêvais et que je découvrais même rarement dans les vues gravées les mieux faites.

Je fais projeter deux spécimens de vues dessinées en 1850 par un géologue, très préoccupé des formes du terrain, et dont l'habileté dans ce genre d'opérations n'a pas été dépassée (*fig.* 3 et 4). Vous serez ainsi en état de les juger par comparaison avec ce que vous savez que l'on obtient aujourd'hui si aisément à l'aide de la Photographie dans les mêmes régions pittoresques.

J'ai eu l'occasion de vérifier l'exactitude vraiment surprenante des dessins de M. Hogard, qui n'employait aucun instrument.

Mais il y a bien peu de dessinateurs qui parviennent à atteindre une pareille sûreté de main et, comme je prévoyais qu'il y aurait toujours là un obstacle au succès de la méthode, je pensai naturellement à recourir à la *chambre claire de Wollaston* dont je savais que d'habiles architectes, M. *Caristie* entre autres, avaient déjà tiré un grand parti pour l'étude des monuments.

Cet instrument est, en effet, le plus simple et le plus portatif de tous ceux qui ont été imaginés dans le même but et



Fig. 3.

pour dessiner les paysages. J'avais eu déjà l'occasion de m'en

servir et j'en connaissais les avantages et les légères imper-

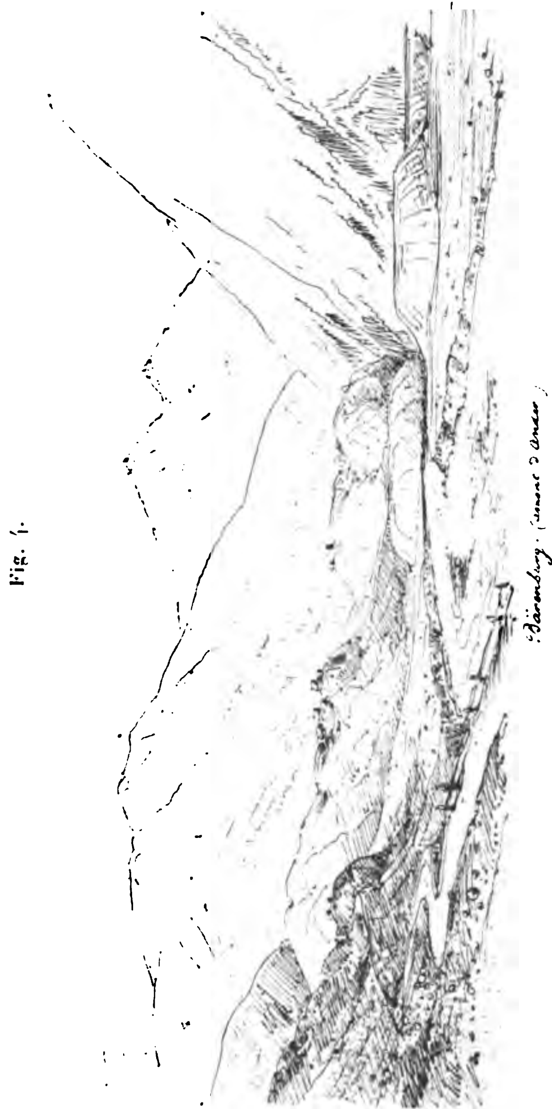


Fig. 1.

fections; je m'appliquai à corriger ces dernières et je fus assez heureux pour y parvenir.

C'était en 1849; comme j'avais trouvé le fil qui m'avait guidé dans le rapport d'*Arago*, je pensai qu'il convenait de faire part à l'illustre savant du premier résultat que je venais d'obtenir en dessinant, avec une chambre claire prise dans le commerce, une vue de la façade méridionale des Invalides sur laquelle j'avais pu prendre des mesures angulaires déjà assez exactes. *Arago*, qui, à la prière de son fils Emmanuel, avait bien voulu m'accorder une audience, m'écouta avec beaucoup de bienveillance; il parut satisfait d'apprendre que c'était son rapport, publié trois ans auparavant, qui m'avait mis sur la voie et il ajouta : « Si vous réussissez comme je l'espère, cela fera grand plaisir à Beautemps-Beaupré. » J'allai, selon son conseil, trouver l'habile artiste *Gustave Froment* qui construisit, très vite et avec le plus grand soin, l'instrument que je mets sous vos yeux et dont je me servis, dès 1850, pour exécuter les vues et la restitution des plans de la *Forteresse du Mont-Valérien* et du *Fort de Vincennes* que je vous montrerai tout à l'heure.

Qu'est-ce que la chambre claire, comment s'en sert-on et comment combine-t-on les vues qu'elle aide à dessiner pour construire un plan topographique?

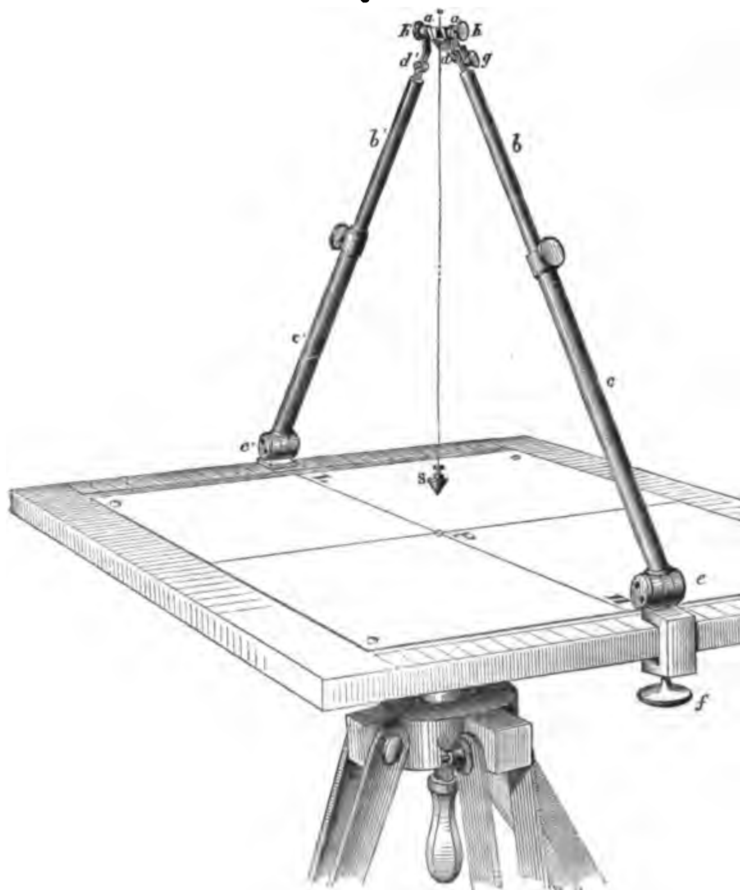
Je n'entrerai pas dans de grands détails sur l'instrument. Son organe essentiel, dans le modèle que j'ai adopté, est un tout petit prisme de verre, dont deux faces consécutives réfléchissent la lumière, comme deux miroirs plans, en donnant des images redressées des objets, du paysage devant lequel on le dispose.

Sur les premiers instruments à dessiner les perspectives, il y avait une surface plane verticale et transparente, une glace ou une gaze, sur laquelle on traçait ou l'on peignait les images, en se servant d'un œilleton fixé, à une distance déterminée, en arrière de la surface transparente et qui était justement le point de vue.

Le prisme ou les deux miroirs successifs de la chambre claire font dévier les rayons lumineux de telle sorte que l'image du paysage paraît projetée, sans aucune déformation, d'ailleurs, sur la planchette horizontale où il est beaucoup plus aisé de la dessiner que sur un plan vertical.

Le prisme est enchâssé dans une monture métallique portant une échancrure demi-circulaire, qui joue le rôle de l'œil-

Fig. 5



leton. Dans ce cas, comme dans celui de tous les *diagraphes*, le plus léger déplacement de l'œil du dessinateur fait flotter l'image, ce qui produit une gêne et rend le dessin moins exact. Il y a ce qu'on appelle une *parallaxe;* Wollaston était bien parvenu à la faire disparaître de plusieurs manières, mais en laissant toujours subsister quelques inconvénients.

Le moyen que j'ai employé et qui consiste à creuser légèrement la face supérieure du prisme, au bord de l'arête mise à découvert par l'échancrure, en créant un centre optique dont la position est la plus favorable, fait disparaître complètement ces inconvénients, si bien que les images obtenues peuvent être considérées comme de véritables éléments géométriques dans des conditions parfaitement déterminées.

Le résultat est celui que vous voyez (*fig.* 1). En nous reportant à l'instrument lui-même (*fig.* 5), je vous ferai remarquer seulement la symétrie des branches fixées aux deux bords d'une planchette qui permet, celle-ci étant mise en station, à la manière ordinaire, au moyen d'un petit niveau à bulle d'air, de disposer les arêtes du prisme horizontalement, à l'aide du même niveau posé sur la face supérieure de ce prisme. Ces conditions remplies, on projette le centre de l'œilleton O, pratiqué dans la monture qui enchâsse le prisme, sur la planchette, et l'on a ainsi le *point principal* P de la perspective, par lequel on mène aisément la *ligne d'horizon* LH à l'aide de procédés faciles à justifier et dont le plus simple consiste à dessiner sur la planchette l'image d'une ligne verticale du paysage, s'il en existe, ou celle d'un fil à plomb tenu à une certaine distance en avant de l'appareil.

La *distance du point de vue au tableau*, qui est un élément essentiel de nos constructions, comme vous l'allez voir, se mesure directement avec une règle divisée entre l'œilleton O et le point principal P.

Reprenons l'image que je vous ai déjà montrée (*fig.* 1), et qui a été effectivement dessinée avec la chambre claire dans les conditions indiquées.

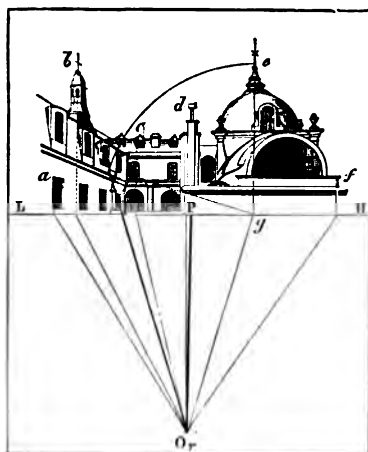
Cette image que je redresse, pour la montrer telle qu'elle est (*fig.* 1 *bis*), porte la ligne d'horizon LH, autour de laquelle on a rabattu le point de vue O sur la feuille de papier. Des points *a, b, c, d, e, f,* pris dans différentes régions de l'image et correspondant aux points A, B, C, D, E, F du monument (ou du paysage) (*fig.* 1), on a abaissé des perpendiculaires sur la ligne d'horizon et l'on a joint les pieds de toutes ces perpendiculaires au point O_r, rabattement du point de vue.

Les angles compris entre ces droites qui rayonnent du point

O_r sont ceux que l'on mesurerait sur un cercle divisé ou sur une planchette horizontale armée d'une alidade. Ce sont les *angles des rayons visuels réduits à l'horizon.*

Vous avez maintenant la clé de la nouvelle méthode, car toute la question était d'obtenir ces angles réduits à l'horizon exactement, en grand nombre et rapidement. Remarquez, je vous

Fig. 1 *bis.*



$\left(\frac{1}{10}\right)$ de l'échelle de la figure.

prie, que ces angles ne sont pas *mesurés,* mais *tracés* immédiatement. Dans la méthode de Beautemps-Beaupré, il y avait encore beaucoup de mesures à prendre, et il fallait aussi évaluer les angles des rayons visuels aboutissant aux points compris entre les repères pour effectuer ensuite les tracés que nos images correctement dessinées nous fournissent, pour ainsi dire, spontanément. L'économie de temps qui en résulte est considérable, et ceux qui, peut-être sans s'en douter, sont revenus au procédé primitif de Beautemps-Beaupré, ont fait un pas en arrière.

Les vues, préparées comme je viens de l'expliquer, sont toutes prêtes à être employées à la construction des plans. Il suffit d'en considérer deux se rapportant au même monument ou au même terrain, prises de points de vue convenablement

choisis et de les combiner, d'après les procédés ordinaires de la Topographie, pour exécuter cette construction.

Je ne crois pas avoir besoin d'insister ici sur ces principes et je me borne à rappeler que les stations d'où l'on prend les vues doivent être déterminées à part, soit au moyen d'une première *base mesurée* et d'une *triangulation*, soit successivement, en allant de l'une à l'autre et en mesurant les distances qui les séparent, ainsi que les angles que forment les directions des lignes droites qui les unissent. Le premier de ces deux procédés est celui qu'emploient le plus habituellement les topographes qui peuvent résider pendant quelque temps dans la localité qu'ils ont à étudier; le second, celui des *cheminements*, combiné assez souvent d'ailleurs avec le premier, s'impose à ceux qui ne font que parcourir rapidement le pays qu'ils explorent, sans pouvoir s'y arrêter.

Ceci bien compris, rien n'est plus simple que de se rendre compte de la manière dont sont obtenus par points les éléments d'un plan, à l'aide de deux perspectives.

Voici, par exemple (*fig.* 6), deux vues d'un côté du fort de Vincennes, qui comprend le donjon, orientées l'une par rapport à l'autre et par rapport à la *base* AB aux extrémités de laquelle elles ont été prises. Il suffit de jeter un coup d'œil successivement sur les images *aa* et *bb* pour y reconnaître le même objet, le même point, et pour voir que la position de ce point sur le plan en résulte très simplement et très sûrement.

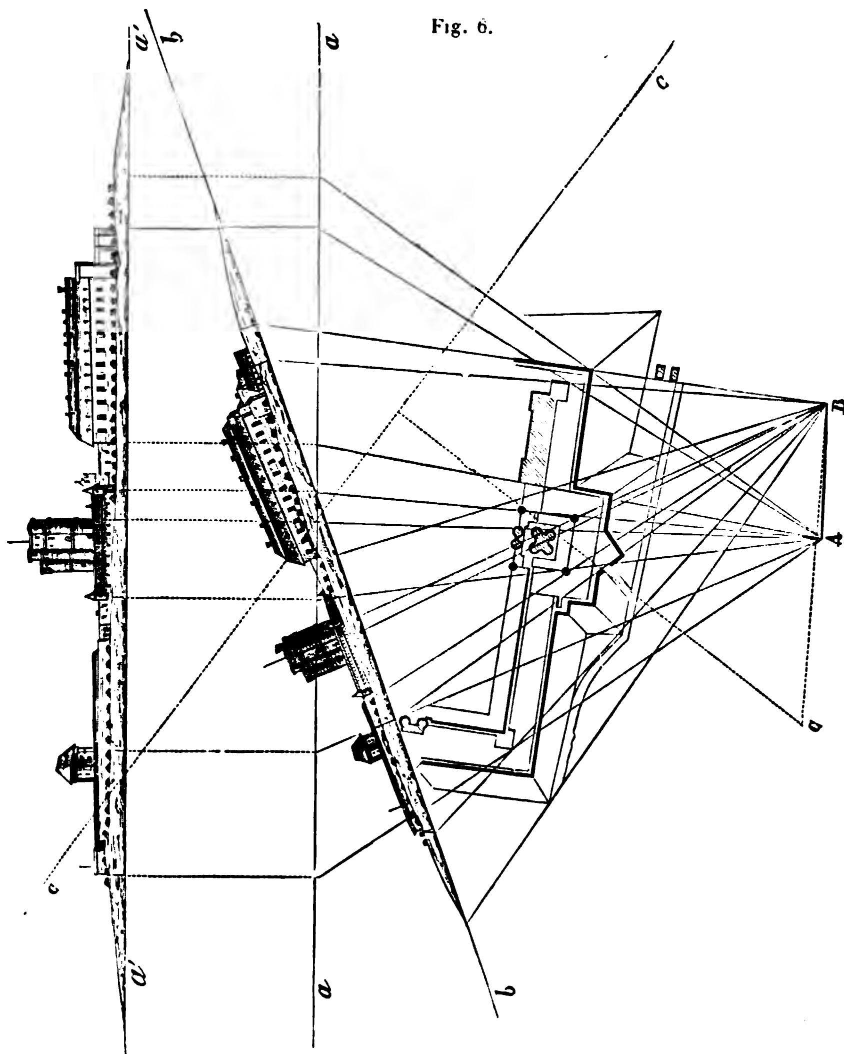
En employant une troisième vue, *cc*, indiquée ici seulement par la ligne d'horizon, on se donne, au besoin, un moyen excellent de vérification.

Je compléterai ces renseignements, qui se lisent pour ainsi dire immédiatement sur la figure, en ajoutant quelques mots sur la manière très simple dont s'effectue le nivellement de chaque point représenté sur le plan. Cette opération consiste à calculer la différence de niveau du point considéré avec l'une ou avec l'autre des deux stations qui ont servi à le construire.

On pourrait croire, encore dans ce cas, qu'il faut évaluer l'angle de hauteur ou de dépression du point par rapport au plan d'horizon de la station choisie. Il n'en est rien, et tout se réduit à des mesures linéaires effectuées rapidement : l'une sur

le plan, la distance horizontale du point considéré à la station

Fig. 6.



exprimée en mètres, d'après l'échelle de ce plan, et les deux autres sur la vue préparée : la longueur projetée du rayon visuel

jusqu'à la ligne d'horizon et la hauteur (ou la dépression) apparente du point considéré, exprimées toutes les deux en millimètres. Un coup de règle à calcul donne la différence de niveau cherchée exprimée en mètres. L'apprentissage de cette opération, qui peut être confiée à un aide tant soit peu intelligent, est très vite fait, et il en est de même de celui de la préparation des vues dont il a été question précédemment.

Le topographe ou l'ingénieur qui construit le plan et qui veut exprimer le relief du terrain au moyen de courbes de niveau, comme celles que je vous montrerai tout à l'heure, est ainsi soulagé d'un travail un peu fastidieux et réserve toute son attention pour l'étude des formes du terrain représentées sur les vues, mais qu'il faut savoir traduire, transformer sur le plan, en se référant aux cotes de nivellement qui y sont déjà inscrites. C'est ce dernier travail, très intéressant mais délicat, qui fait le mérite de ceux qui le mènent à bonne fin.

J'y reviendrai un peu plus loin, mais je tiens à faire remarquer tout de suite qu'il se présente assez souvent des cas où le touriste, dessinateur ou photographe, peut utiliser les vues qu'il a prises, dans un pays dont la carte existe et, en particulier, dans une ville ou aux environs d'une ville dont on trouverait le plan dans les *Guides*.

En ayant soin seulement de marquer les stations d'où ont été prises les vues sur la carte ou sur le plan, chacune de ces vues permettra d'effectuer le nivellement d'un grand nombre de points et, là où le terrain sera à découvert, de tracer ou au moins de figurer très approximativement son relief, au moyen de courbes de niveau.

Je mets sous vos yeux le plan des environs d'une ville assez grande, comme vous pouvez en juger, sur lequel avec trois vues dessinées, en quelques heures, à la chambre claire, de points dominants convenablement choisis, j'ai pu figurer le relief du terrain environnant à une assez grande distance. Ce travail date de l'année 1851 ([1]).

([1]) Ce plan ne peut pas être reproduit ici, mais les auditeurs ont pu l'examiner à loisir, après la conférence. Son authenticité est hors de doute, car il est inscrit à l'inventaire des archives du Comité des fortifications, à la date du 31 décembre 1851.

Si les vues dessinées permettaient déjà d'obtenir de tels résultats, que ne devait-on pas attendre des vues photographiques, autrement complètes, aussitôt que les procédés de l'art nouveau deviendraient faciles à pratiquer sur le terrain.

Je fis de premiers essais, dès 1852, en employant encore la chambre claire dont j'avais de la peine à me séparer, pour reconnaître dans quelles limites les vues photographiées pouvaient être employées à des opérations géométriques. On n'avait, en effet, à cette époque, ni objectifs aplanétiques, ni grands-angulaires.

Remarquez, tout d'abord, que les images obtenues à l'aide de la chambre claire, qui n'est autre chose qu'un système de deux miroirs plans, sont absolument exemptes de déformations, et l'expérience fait voir que le champ de cet instrument atteint et dépasse 60°.

En choisissant une chambre obscure de $0^m,25$ à $0^m,30$ de distance focale et en plaçant les vues photographiées qu'elle avait servi à obtenir, sur la planchette de la chambre claire mise en station au même point de vue, enfin, en réglant convenablement la hauteur du prisme au-dessus de la planchette, on pouvait superposer l'image virtuelle donnée par la chambre claire (laquelle image était naturellement colorée) et la photographie. On en concluait immédiatement le champ utile de l'objectif, qui, alors, ne dépassait guère 25°. Vous savez si les temps sont changés, mais, pendant que je m'occupe de la période préhistorique, laissez-moi ajouter qu'on en était à l'albumine, qu'il fallait battre des blancs d'œufs pendant des heures entières, et que le temps de pose était si long que je préférais revenir à la chambre claire.

Les vues photographiées avaient, je le répète, sur les vues dessinées le très grand avantage de contenir tous les détails imaginables, dont le plus grand nombre échappe au dessinateur le plus exercé et le plus consciencieux, et je ne négligeais rien pour me tenir au courant des progrès d'un art dont je pressentais toute l'importance pour les applications qui intéressent les ingénieurs, les voyageurs et les géographes. Je retournais fréquemment au Collège de France, où mon illustre

maître et ami V. Regnault me donnait asile et me prodiguait les plus sages conseils

En attendant, je cherchais à tirer le meilleur parti de la chambre claire. Ainsi, pour obtenir des détails sur des objets

Fig. 7.



éloignés, j'avais combiné cet instrument avec une lunette terrestre — comme les micrographes l'avaient déjà combiné avec le microscope. Voici un dessin (*fig.* 7) obtenu, dans ces conditions, en 1850, représentant le sommet du donjon de Vincennes, qui est extrait du *Magasin pittoresque* où il avait été heureusement publié en 1861.

Je dis qu'il avait été heureusement publié dans un recueil bien connu, à la date de 1861, et je pourrais ajouter que le principe de l'appareil était clairement exposé dans le n° 16 du *Mémorial de l'officier du génie*, année 1854, parce que cela n'a pas empêché un inventeur attardé, M. Revoil, architecte à

Nîmes, et son confrère, le célèbre Viollet-Leduc, de mettre au jour et de patronner le même système de la lunette terrestre et de la chambre claire, baptisé par eux du nom anguleux de *téléiconographe*, vers 1868 (1).

En 1876, M. Viollet-Leduc publiait une description du Mont-Blanc, accompagnée d'un grand nombre de vues dessinées avec cet appareil, et semblait ignorer que nous avions eu, hélas! l'occasion d'en faire usage sur une bien plus grande échelle, pendant le siège de Paris par les Allemands. J'ai fait placer sur des chevalets quelques-uns des nombreux panoramas exécutés par d'habiles artistes qui avaient bien voulu être mes collaborateurs. Il y en a deux qui représentent la redoute de Montretout (*fig.* 8), l'une prise d'une maison de Passy (2), à une distance de 4500^{m}, et l'autre du Panthéon, c'est-à-dire à plus de 10^{km}.

En voici une autre (*Pl. II*), qui représente le plateau de Châtillon, vu de l'Observatoire, et encore une autre qui est tout le panorama du plateau compris entre la Bièvre et la Seine que l'on découvrait du clocher de Villejuif (la *Pl. II* en donne une faible partie).

Vous pourrez remarquer qu'à cette époque il eût été encore à peu près impossible d'obtenir des vues photographiées aussi considérablement amplifiées, et que ces résultats, aussi bien que ceux obtenus en 1860 avec les *photohéliographes* (3), ont sans doute mis sur la voie de la *Téléphotographie* les

---

(1) Je suis bien obligé de déclarer qu'ayant été consulté, à ce sujet, par le général Favé, aide de camp de l'empereur, à qui Viollet-Leduc avait soumis cette prétendue invention, j'avais fourni toutes les preuves énoncées ci-dessus, ce qui n'empêcha pas les auteurs de continuer, sans se soucier des droits d'autrui, à faire du bruit autour de leur appareil.

Ce qui est plus grave et plus inexcusable, c'est que l'éditeur responsable du *Mémorial de l'officier du génie* ait laissé insérer, en 1875, dans ce Recueil, un Mémoire sur le téléiconographe et ses applications militaires, accompagné de dessins que l'on aurait pu croire pris parmi ceux qui ont été exécutés en si grand nombre pendant le siège de Paris, et qui étaient bien connus de l'éditeur en question, sinon de l'auteur du Mémoire, très jeune officier qui croyait sans doute bien faire, en étudiant un instrument supposé nouveau.

(2) Nous en donnons seulement ici un élément, un champ de lunette.

(3) Par M. Warren de la Rue et par le P. Secchi en Espagne, par M. Aimé Girard et par moi en Algérie.

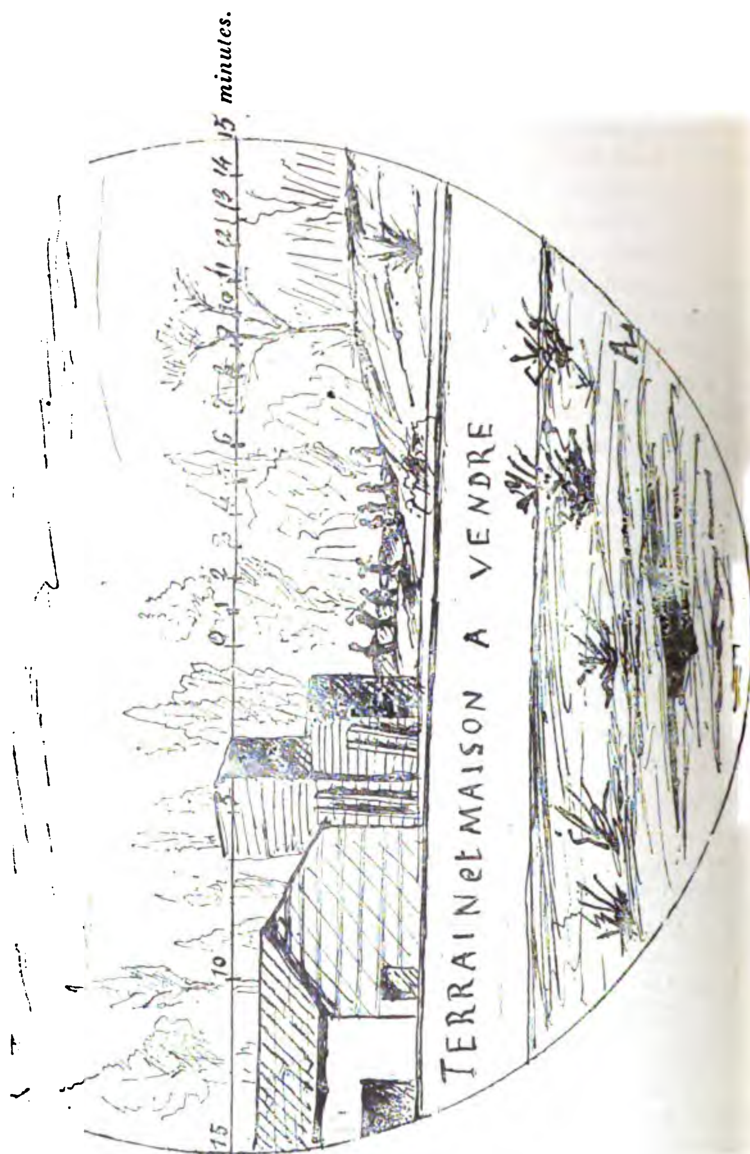


Fig. 8. — Un champ de lunette du télémétrographe dirigé sur la redoute de Montretout, de l'Observatoire militaire de Passy, en 1870.

constructeurs et les savants officiers qui l'ont si bien réalisée.

M. le commandant Fribourg, l'un d'entre eux, vous a fait voir ceux qu'il a obtenus récemment et que vous avez admirés.

Fig. 9.



Dois-je ajouter que les vues obtenues, de nos douze observatoires militaires, à l'aide du *Télémétrographe* (car j'ai cru devoir, à mon tour, lui donner un nom plus harmonieux et tout à fait justifié), ont servi à établir le plan directeur des

travaux de siège de l'ennemi et que le gouverneur de Paris a été régulièrement tenu au courant de ces travaux. Mon excellent collègue, M. Levasseur, ici présent, qui a contribué à cette œuvre patriotique, confirmerait ce que j'avance.

La *fig.* 9, qui représente un opérateur en train de dessiner à l'aide de l'instrument, est extraite d'un numéro du journal *La Nature,* dans lequel elle a été publiée en 1885.

Ces explications, qui ne se rapportent pas directement à la Photographie, vous ont sans doute paru bien longues, et vous attendez certainement avec impatience ce qu'il me reste à vous dire de l'application de cet art au lever des plans.

Je n'hésite pas à vous déclarer que j'ai bien peu de choses à ajouter pour passer de l'*Iconométrie* que je viens de traiter avec assez de détails à la *Métrophotographie* qui en est simplement, comme je le disais au commencement de cette conférence, un corollaire, ou, si vous le préférez, une branche devenue plus féconde que la souche d'où elle est sortie.

Le problème de la transformation des vues perspectives dessinées exactement sur des tableaux verticaux en projections horizontales, c'est-à-dire en plans topographiques complétés par les courbes de niveau qui expriment le relief du terrain, étant résolu, il ne restait, en effet, qu'une chose à faire pour rendre cette solution applicable aux vues photographiées : obtenir ces dernières dans des conditions de précision géométrique suffisante.

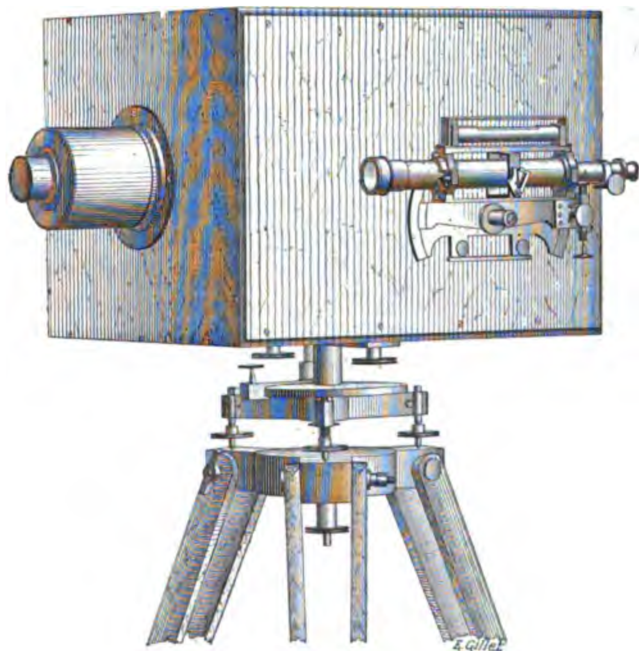
Tel est le but que je me suis proposé d'atteindre, aussitôt que les procédés photographiques sont devenus assez simples pour permettre d'entreprendre sérieusement des opérations suivies sur le terrain.

Je ne m'arrêterai pas à indiquer le moyen facile (retrouvé par beaucoup d'autres) que j'ai employé depuis longtemps pour déterminer rigoureusement la distance focale d'un objectif, élément indispensable pour nous, puisqu'il n'est autre chose que la distance du point de vue au tableau, et je ne vous ferai pas davantage la description de la première *chambre obscure topographique* qui ait été construite et que ceux qui l'ont imitée ont baptisée du nom de *photothéodolite.*

Je me contente d'en mettre sous vos yeux un dessin ou

plutôt une photographie (*fig.* 10) faite en 1859, et de vous en montrer un modèle réduit plus récent (*fig.* 11 et 12) que j'engage les voyageurs scientifiques et, en général, les photographes instruits à adopter, s'ils veulent que les documents qu'ils vont

Fig. 10.



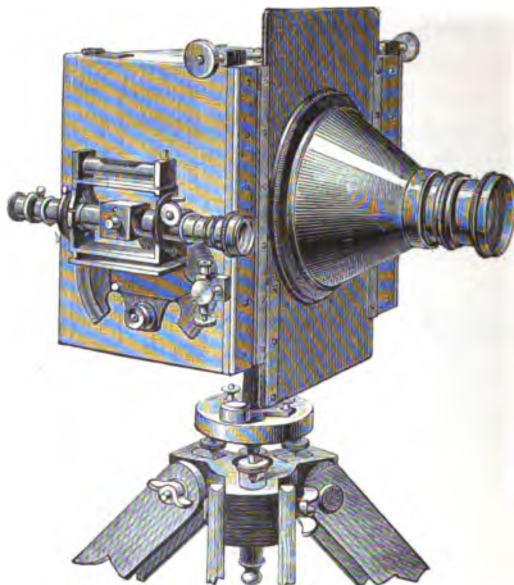
souvent recueillir péniblement au loin puissent être utilisés au profit de la Science géographique.

Le caractère essentiel des appareils que j'ai proposés est de pouvoir servir à des opérations purement topographiques, en y comprenant toutefois les triangulations de l'ordre de celles qui peuvent être confiées à un géomètre tant soit peu exercé; il fallait donc que leurs organes fussent simples et n'eussent aucune prétention à la précision des instruments de Géodésie proprement dits.

Les ingénieurs étrangers venus après nous, Allemands,

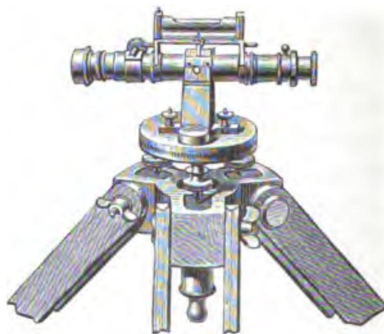
Italiens, Autrichiens, en ont jugé autrement et leurs photo-

Fig. 11.



théodolites, dont je projette les dessins de ceux qui me sont

Fig. 12.



connus, sont, comme vous le voyez, d'une construction com-

pliquée et coûteuse et d'un maniement trop délicat pour la plupart des photographes ([1]). Je suis convaincu qu'ils reviendront à des dispositions plus modestes, en reconnaissant avec nous qu'il convient de laisser la Géodésie aux géodésiens.

Les conditions à remplir sont les suivantes : la chambre doit être rigide (en bois ou en métal) ou tout au moins construite de façon à pouvoir revenir rigoureusement à la même forme ; la distance focale doit être invariable ; la surface impressionnable, plaque ou pellicule, doit être bien verticale et la ligne d'horizon doit y être repérée par deux points qui s'y tracent photographiquement. Deux autres points destinés à donner la trace du plan principal et par suite le point principal peuvent être obtenus de même. On satisfait à ces dernières conditions en montant la chambre sur un trépied métallique à vis calantes porté lui-même par un pied à trois branches non articulées qui doit être très stable.

Une petite lunette munie d'un réticule et d'un micromètre, dont l'axe optique doit être habituellement parallèle à celui de l'objectif photographique, est mobile autour de l'axe horizontal d'un éclimètre qui permet d'évaluer les inclinaisons des lignes de visée, quand on dirige la lunette sur un point quelconque du terrain. Enfin, un niveau à bulle d'air, qui se pose sur la lunette, sert à faire les rectifications ordinaires des instruments mobiles autour d'un axe qui doit être rendu vertical. Ces rectifications faites, les mouvements de la chambre autour de l'axe vertical sont mesurés sur un cercle horizontal fixé au trépied métallique, au moyen d'un cercle-alidade porté par le bâti de la chambre, ou plutôt par la douille du croisillon qui fait corps avec ce bâti.

Le même niveau sert en outre à ramener l'axe optique de la lunette à l'horizontalité et, par celle-ci, à vérifier les repères intérieurs situés près de la surface impressionnable dont les traces donnent deux points de la ligne d'horizon.

En se servant de la lunette rendue mobile autour de l'axe

([1]) Je ne donne pas ces dessins en ce moment, mais ils paraîtront dans les *Annales* à l'occasion de la publication de la IIIe Partie de mon Mémoire sur les *Applications de la perspective au lever des plans*.

horizontal de l'éclimètre et en faisant tourner tout l'appareil autour de l'axe vertical, on se trouve, en réalité, dans les conditions d'un théodolite, et l'on peut mesurer les angles réduits à l'horizon qui sont les éléments d'une triangulation, les angles de pente ou de hauteur et enfin, au moyen du micromètre de la lunette et d'une stadia, les distances qui séparent des stations peu éloignées les unes des autres.

Mais, je ne saurais trop le répéter, il ne s'agit toujours que d'opérations topographiques entièrement analogues à celles que l'on fait couramment avec un tachéomètre ou avec une boussole nivellatrice, avec cette différence capitale que chaque épreuve photographique donne, *d'un seul coup*, une foule d'angles qui exigeraient autant de mesures et, par conséquent, un temps considérable, si l'on employait les instruments que je viens de désigner dans les conditions ordinaires.

Lorsqu'on peut résider pendant quelque temps dans la même localité et que l'on s'est décidé à faire une triangulation, comme il devient inutile de s'embarrasser de la chambre obscure pour effectuer cette opération primordiale, profitant de l'expérience de M. le commandant Javary, j'ai fait disposer les différentes parties de l'appareil de manière à pouvoir le décomposer.

En supprimant la chambre obscure, vous voyez sur le modèle (*fig.* 12) que j'ai fait construire récemment l'appareil réduit à n'avoir plus que les organes essentiels d'un cercle ou d'un graphomètre d'arpenteur.

On peut aussi, à la rigueur et inversement, enlever à leur tour ces organes et n'avoir plus que la chambre obscure montée directement sur son pied, ce qui permet à un photographe de s'en servir à la manière ordinaire, s'il ne se propose pas d'employer ses épreuves aux mesures qui nous occupent.

Revenons à la chambre obscure topographique. Je ne m'arrêterai pas à faire la comparaison de l'amplitude du champ des objectifs photographiques et de celui de la chambre claire. Au début, celle-ci avait l'avantage et aujourd'hui c'est le contraire avec les grands-angulaires, mais j'ajoute que l'on ne doit pas, en général, être tenté d'en profiter et qu'il est préférable de se contenter d'un champ de 45° environ, en multi-

pliant, au besoin, les épreuves que l'on obtient si rapidement par les procédés actuels et qui sont plus maniables, quand on en arrive aux constructions graphiques.

Le champ vertical de la chambre obscure est habituellement plus que suffisant ([1]). Cependant il arrive fréquemment, dans les pays très accidentés, qu'il doive s'étendre au-dessus ou au-dessous de l'horizon (cela arrive aussi pour les édifices dont on est obligé de trop s'approcher); pour répondre à cette nécessité, le châssis porte-objectif est à coulisses et mobile dans le sens vertical ([2]). Une graduation convenable placée sur le bord du châssis permet de tenir compte, sur les épreuves, du déplacement correspondant de la ligne d'horizon.

Quelques ingénieurs, parmi les Allemands et les Italiens, ont donné à leurs appareils un mouvement général autour d'un axe horizontal, en inclinant, par conséquent, le tableau de la perspective. Ils ont été amenés à tenir compte de cette inclinaison par le calcul. A moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, et que nous n'avons pas rencontrées, même en pays de montagnes, nous ne conseillerions jamais de recourir à ce genre de construction, mais nous n'avons pas moins cherché et donné une méthode graphique très simple pour utiliser les vues photographiées sur des tableaux inclinés, comme celles que l'on peut avoir intérêt à prendre en ballon ou à l'aide des ingénieux cerfs-volants de MM. Arthur Batut, de la Bruguière et Émile Wenz, de Reims.

On a fait, assez souvent, à la méthode des perspectives pour lever les plans, l'objection qu'elle ne pouvait être avantageuse ou même praticable que dans les pays très accidentés; nous avons cependant opéré un peu partout, en ne négligeant d'ailleurs jamais de profiter des édifices et, généralement, des circonstances qui nous permettaient de mieux découvrir le terrain.

([1]) J'ai fait remarquer, depuis longtemps, qu'avec la chambre claire, il est indéfini; il pourrait le devenir, si l'on donnait une hauteur suffisante à la chambre obscure, avec le mouvement de l'objectif dont il est question ci-après.

([2]) Cette disposition a été réalisée depuis longtemps par M. Javary, qui a été, je crois, le premier à s'en aviser; elle est très communément employée aujourd'hui.

L'emploi des cerfs-volants, quand il aura reçu encore quelques perfectionnements, lèvera cette objection à beaucoup moins de frais que si l'on recourait aux ballons. Je serais heureux si mes encouragements et mes conseils avaient contribué à entretenir l'ardeur et la foi de mes jeunes compatriotes promoteurs d'une idée aussi féconde qu'originale.

Je n'ai rien à ajouter à ce qui vous a été dit par M. le commandant Fribourg de la Photographie en ballon, si ce n'est que l'on peut traiter les vues à vol d'oiseau qu'elle procure pour construire les plans, comme celles qu'on obtient avec les cerfs-volants, en recourant aux théorèmes sur les vues planes inclinées que j'ai établis et publiés, mais que je ne saurais exposer ici.

Je n'ai rien à dire non plus des vues instantanées des côtes prises, à présent, sans difficulté, du pont d'un navire. Elles sont absolument dans le même cas que les vues prises à terre, à la seule condition d'opérer avec précaution pour ramener, autant que possible, le plan du tableau dans une direction verticale.

Il y a déjà près de vingt ans que l'un de nos savants marins, M. l'amiral *Miot* a cherché à mettre à profit la Photographie instantanée pour effectuer la reconnaissance des côtes. Je fais projeter l'une des vues des *Bermudes* (*Pl. A*) obtenues par lui et il m'est impossible de ne pas remarquer, à ce sujet, que nous voilà ramenés à notre point de départ et de songer à Beautemps-Beaupré dont les successeurs ont désormais une ressource si précieuse pour hâter l'une des parties les plus délicates de leurs travaux ([1]).

Je vous montre encore un dispositif très ingénieux, composé de deux chambres obscures identiques, proposé par M. Piver pour guider sûrement les opérateurs.

Je ne saurais terminer ce long exposé, qu'il ne m'a pas été possible d'abréger, sans parler des résultats obtenus et qui autorisent à en présager de bien autrement considérables, si la

---

([1]) Nous reproduisons ici en fac-similé (p. 35) une Note de l'amiral Miot relative à cette vue des Bermudes.

Vue de l'une des îles Bermudes prise du large (Photographie instantanée faite en 1863, sous la direction de l'amiral Miot)



Gauthier-Villars et Fils, éditeurs.

HÉLIO LAUSSEDAT ET SABATIER. PARIS-CHATEAUDUN

méthode des perspectives continue à se répandre et à être enfin bien comprise et largement pratiquée.

Je dois même, auparavant, mentionner les essais qui ont été faits, en s'écartant de l'idée si naturelle de mettre à profit les propriétés des vues planes et verticales ou inclinées de la chambre obscure ordinaire.

Deux espèces d'appareils spéciaux ont été imaginés pour enregistrer les angles sur les photographies. Les uns donnent des images développées en panoramas sur des surfaces cylindriques; avec les autres, on obtient des panoramas circulaires aplatis, désignés aussi sous le nom de *perspectives rayonnantes*. Les inventeurs qui ont réalisé ces appareils étaient ou sont, pour la plupart, des hommes de mérite, et les appareils eux-mêmes sont intéressants. L'un des prochains conférenciers, M. le commandant Moëssard, doit vous entretenir des appareils panoramiques proprement dits, dont s'il est beaucoup occupé, et il vous montrera sans doute le *cylindrographe* qu'il a imaginé et le *cyclographe* de M. Damoiseau, qui sont les plus récents de ce genre.

J'ai fait apporter ici ceux qui donnent des perspectives rayonnantes. Le premier en date est la *planchette photographique* du *Dr Chevalier*, instrument ingénieux, mais peu pratique. Le second, beaucoup plus savant et moins encombrant, a été réalisé par le colonel du génie *Mangin*, qui l'a désigné sous le nom de *périgraphe*. Je fais projeter successivement les épreuves obtenues avec la planchette photographique et avec le périgraphe. Vous voyez que les dernières sont beaucoup plus nettes que les premières, mais les unes et les autres sont des anamorphoses et cela suffirait pour faire renoncer à leur emploi.

Je vous montre encore le plan du *château de Pierrefonds* accompagné des vues rayonnantes qui auraient servi à lever ce monument. Je vous laisse juges de l'impression que produit cet ensemble. Quoi qu'il en soit, partout où l'on a entrepris de faire sérieusement de la Topographie, à l'aide de la Photographie, on a employé exclusivement la chambre obscure ordinaire, munie des organes de mesure dont j'ai fait l'énumération.

On fait, depuis quelque temps, beaucoup de bruit, à l'étranger, de la *Métrophotographie* désignée tantôt sous le nom de

Photogrammétrie et tantôt sous celui de *Phototopographie*. Certains auteurs, allemands, espagnols, américains, anglais, reconnaissent tout simplement que cet art est né et s'est développé en France. D'autres y font plus de difficultés, les Italiens surtout, qui ont beaucoup travaillé et avec succès dans ces derniers temps, mais qui ont commencé très tard et quand le problème était entièrement résolu. Ne pouvant pas se décider à nous rendre justice, ils sont allés chercher les projets de l'ingénieur Porro qui, fussent-ils datés de 1855, comme ils l'affirment, sans remonter à Beautemps-Beaupré, avaient été devancés par les résultats authentiques obtenus en 1850 et publiés en 1854 dans le n° 16 du *Mémorial de l'officier du génie*, à Paris, où résidait M. Porro, fort au courant de mes travaux (1). Je reviendrai encore nécessairement sur cette question de priorité, mais ce que je tiens à mettre hors de doute, après ce que vous avez déjà vu des résultats dus à l'emploi de la chambre claire, ce sont ceux qui ont été constatés officiellement et publiquement de 1859 à 1862, par l'Académie des Sciences et par les délégués du Ministre de la guerre.

Avec deux vues photographiées, prises, l'une de la plateforme de l'Observatoire de l'École Polytechnique et l'autre du sommet de l'une des tours de Saint-Sulpice, je déterminai, en présence de MM. Laugier et Daussy, membres de l'Académie des Sciences, autant de points du plan de Paris qu'ils me désignèrent de monuments visibles des deux stations. Le rapport de M. Laugier, inséré dans les *Comptes rendus*, t. L, 1860, et l'approbation de l'Académie peuvent se passer de commentaires. Je suis seulement en droit de demander à ceux qui voudraient soutenir que des expériences analogues ont été faites antérieurement, d'en fournir une preuve aussi claire et aussi irrécusable.

L'expérience faite, par ordre du Ministre de la guerre, en

---

(1) Aucune personne de bonne foi ne saurait contester que le problème était entièrement résolu avec la chambre claire; je crois avoir suffisamment établi qu'il ne restait, pour ainsi dire, rien à faire pour appliquer la méthode aux vues photographiées, et le Comité des fortifications l'avait reconnu dès 1852, en m'accordant le crédit nécessaire pour l'acquisition d'une chambre obscure destinée au même usage que la chambre claire.

présence des officiers de la division du génie de la garde impériale, ne fut pas moins convaincante. Je vous ai déjà montré l'instrument qui a été employé, et voici le plan du petit village de Buc exécuté en mai 1861 (*Pl. III*).

L'opération sur le terrain avait duré deux heures (huit vues sur collodion humide) et la construction du plan *nivelé* avait demandé deux jours seulement. D'autres expériences furent faites, la même année et l'année suivante, par les officiers du génie à Versailles et dans les écoles régimentaires. Je vous montre une vue du Mont-Valérien, faite sur un cliché obtenu sur papier ciré sec que j'ai conservé et qui montre avec quelle finesse tous les détails du paysage étaient reproduits dès cette époque (*Pl. IV*). Enfin, il fut décidé que l'un des officiers du régiment de Montpellier, d'une aptitude exceptionnelle, M. le capitaine Javary, viendrait à Paris et y serait mis à la disposition du Comité des fortifications pour exécuter des reconnaissances de positions militaires, indépendamment de celles qui étaient confiées à la brigade topographique. Je ne saurais mieux faire que de mettre sous vos yeux la liste des travaux de M. le capitaine aujourd'hui commandant Javary, chef des travaux graphiques à l'École Polytechnique (p. 39). J'ose affirmer que personne, dans aucun pays, n'en a encore exécuté d'aussi nombreux, d'aussi variés et d'aussi remarquables, et je ne peux qu'exprimer le regret que des circonstances dont je n'ai pas été à même de bien me rendre compte, les aient fait suspendre, au lendemain de la guerre avec l'Allemagne, précisément au moment où celle-ci en entreprenait d'analogues, alors qu'il eût été encore plus urgent de les continuer, en les développant.

Je mets sous vos yeux des spécimens des vues obtenues sur collodion sec (*Pl. V*), pour que vous jugiez encore de la netteté des images que nous obtenions même avant les progrès plus récents de la Photographie.

Le lever des fortifications et des environs de Grenoble accompagné des vingt-neuf vues qui avaient servi à le construire, en 1864, a été présenté à l'Académie des Sciences, la même année (*Comptes rendus*, t. LIX, p. 988), et le lever de Faverges a figuré à l'Exposition universelle de 1867, où il a été examiné et admiré par un grand nombre d'étrangers.

TRAVAUX DE M. LE CAPITAINE JAVARY.

1863-64. — *Expériences et études autour de Paris.*

ANNÉES.	LOCALITÉS.	SURFACE du terrain reconnu ou levé.	CHEMINEMENT ou triangulation.	ÉCHELLE.	ÉQUI-DISTANCE des courbes.	DURÉE du travail extérieur.	DURÉE de la réduction.	NOMBRE des stations.	NOMBRE des épreuves	NOMBRE des points con-struits et cotés.
		hectares.								
1864	Fortifications et env. de Grenoble	2000	9 kil.	$\frac{1}{5000}$	10 mètres	60 heures	2 mois	18	29	600
1865	Forts de l'Est, à Paris........... (*Reconnaissance militaire*).	2775	13 kil. 907		1 mètre	36 heures	»	24	33	1.450
»	Toulon.......................	3350	35 kil.	$\frac{1}{5000}$		5 jours	3 mois	14	35	1.850
1866	Faverges.....................	12000	6 triangles, 118 sommets	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	18 jours	5 mois	43	125	4.680
»	Belfort...................... (*Reconnaissance militaire*).	»	»			6 heures	8 heures	6	10	»
1867	Langres......................	5600	33 sommets	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	12 jours	3 mois	33	49	1.900
»	Sainte-Marie-aux-Mines..........	4500	18 sommets	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	10 jours	2 mois $\frac{1}{2}$	31	52	1.400
»	Col et vallée du Bonhomme.....	3500	52 kil.	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	3 jours	1 mois $\frac{1}{2}$	15	23	1.450
1868	Une partie de la plaine d'Alsace.. (*Chatenois, Villé, Steige, Urbeiss, plateau de Saales*).	40000	»	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	30 jours	»	79	160	7.500

La surface totale du terrain reconnu ou levé en six campagnes par M. Javary, aidé d'un garde du génie, M. Galibardy, est de plus de 72000 hectares, c'est-à-dire de 720 kilomètres carrés. Je fais encore remarquer que les plans dessinés à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ portaient des courbes de niveau dont l'équidistance a varié de 1 mètre à 10 mètres, d'où il est aisé de conclure qu'en les réunissant on couvrirait une surface de 30 mètres carrés très ouvragée.

Je fais projeter, pour vous en donner une idée, le plan de la vallée de Sainte-Marie-aux-Mines (*Pl. VI*).

M. le commandant Javary a bien voulu venir faire devant vous quelques-unes des constructions qui ont servi à dresser ce plan. Je vous prie de remarquer, pendant qu'il va opérer, combien ces constructions sont simples et sûres, ce qui est dû aux propriétés des vues sur tableaux plans que nous employons et que ceux qui ont tenté de les remplacer par des vues sur des surfaces courbes semblent ignorer, car ils compliquent le problème, loin de le simplifier, comme ils y prétendent ([1]).

Les étrangers qui pratiquent la Métrophotographie ou Photogrammétrie l'ont bien compris; ils ont tous adopté des

([1]) Ces propriétés sont si connues et si précieuses, qu'aucun géomètre, aucun architecte ne consentirait à se priver des ressources qu'elles offrent dans le cas de la restitution des plans et des élévations des monuments. Il va sans dire qu'aucun photographe avisé ne choisira des points de vue comme ceux que l'on a supposés, dans une autre conférence faite après celle-ci, pour essayer de démontrer la supériorité des images cylindriques sur les images planes. L'auteur nous permettra de lui dire que, sauf dans le cas de préméditation en vue de prémunir les photographes qui font le portrait contre le danger de la caricature, nous n'avons jamais rencontré de déformations exagérées comme celles qu'il a construites pour soutenir sa thèse.

Quand il s'agit de paysages proprement dits, d'ailleurs, les critiques faites aux perspectives planes tombent d'elles-mêmes. Pourvu que l'on ait un bon objectif grand-angulaire pouvant donner une amplitude considérable, la question esthétique devenant absolument secondaire en pareil cas, on pourrait à la rigueur réduire à trois ou quatre au plus le nombre des épreuves, comme avec le cylindrographe, et exécuter les opérations en toute confiance. Mais nous avons dit, et nous insistons sur ce point, qu'il est préférable de multiplier les épreuves, pour qu'elles restent maniables, et de ne pas dépasser l'amplitude de 45° qui, bien que très supérieure à celle dont les peintres ne doivent pas s'écarter, ne produit aucun effet désagréable.

L'intérêt des vues panoramiques est ailleurs; elles fournissent par exemple incontestablement l'élément le plus précieux du théâtre optique.

instruments analogues au nôtre, comme vous l'avez vu, et ils suivent la même méthode, comme on peut s'en assurer en parcourant leurs publications toutes de beaucoup postérieures à celles que j'ai citées.

Je vous prie de m'excuser de tant parler de ce que nous avons fait, depuis plus de quarante ans, pendant que les étrangers ne faisaient rien dans le même ordre d'idées qu'ils ont abordé assez récemment, mais on a cherché et l'on cherche encore à nous enlever un mérite incontestable, celui d'initiateurs, et il faut bien le revendiquer.

Je suis ainsi conduit à vous entretenir des travaux de Métrophotographie entrepris et poursuivis aujourd'hui dans les autres pays.

Malgré toutes les recherches auxquelles je me suis livré depuis quelque temps, il ne m'a pas été possible de trouver de publication authentique d'un essai sérieux fait à l'étranger avant la date de 1865.

Un auteur allemand, le Dr Holze, dans une brochure dont je dois la communication à M. le commandant Legros, qui m'a procuré beaucoup d'autres documents intéressants, assure bien que son compatriote, le Dr Meydenbauer, s'est occupé de la question de la restitution des perspectives des monuments depuis 1858, mais cela n'a été dit ou écrit ni auparavant ni ailleurs, et la brochure est datée de 1887. Le Dr Meydenbauer lui-même, dans un Ouvrage tout récent (1), ne prétend avoir fait ses premières recherches pratiques que de 1865 à 1867; il est vrai qu'il me relègue à la même date, sans se soucier de toutes les preuves imprimées que j'ai indiquées et qu'il n'a plus le droit d'ignorer.

En effet, un autre auteur allemand, M. Guido Hauck, parfaitement renseigné, n'a pas hésité, dans une séance de la Société de Physique de Berlin présidée par Helmholtz, le 4 mai 1883, à reconnaître, dès le début d'une communication sur la *Perspective mécanique* et la *Photogrammétrie*, que le problème général a été résolu en France.

---

(1) *Das photographische Aufnehmen*, Berlin, 1892; Unte's Verlags-Anstalt, p. 183.

Comme cela tranche absolument la question dont il s'agit, je vous demande la permission de lire quelques phrases du procès-verbal de cette séance de la *Société de Physique de Berlin* qui m'a été adressé par M. *Guido Hauck* lui-même, en 1884.

« SÉANCE DU 4 MAI 1883.

» *Présidence de M. von Helmholtz.*

» M. Guido Hauck prend la parole sur la *Perspective mécanique* et la *Photogrammétrie* :

» La Géométrie descriptive, dit-il, s'occupe de la question » de représenter les figures dans l'espace par des projections » parallèles ou centrales. Mais comme une figure dans l'es- » pace est elle-même, en général, déterminée et donnée de » forme et de position par deux projections, on peut pré- » ciser le but fondamental de la Géométrie descriptive (dans » un sens restreint) en disant : étant données deux projections » d'une figure dans l'espace, en trouver une troisième. — Si, » par exemple, les deux projections données sont des projec- » tions parallèles (soit : le plan et l'élévation) et la troisième » projection cherchée une projection centrale, on aura le pro- » blème de la *perspective*. Si les deux projections données sont » des projections centrales (des photographies, par exemple) » et la troisième projection cherchée une projection parallèle » (plan ou élévation), on aura le problème de la *Photogram-* » *métrie*.

» Cette dernière méthode pour exécuter des relevés géomé- » triques du terrain ou d'objets d'architecture au moyen d'é- » preuves photographiques, a été développée, dès 1854, par » M. *Laussedat*, à Paris, et employée d'une façon pratique avec » un succès décidé. La solution du problème en question re- » vient à une construction en arrière de la perspective, ainsi que » Beautemps-Beaupré l'avait déjà indiqué antérieurement. »

Je n'ai pas l'honneur de connaître autrement M. Guido Hauck, mais je lui dois ce témoignage qu'il a nettement et honnêtement posé et, comme je viens de le dire, tranché la question.

Dans une autre publication beaucoup plus étendue et très importante faite également en 1883, et intitulée : *Nouvelles constructions de Perspective et de Photogrammétrie* ou *Théorie de l'alliance trilinéaire des systèmes plans,* M. Guido Hauck, avant d'entrer en matière et d'aborder la solution des problèmes de la Photogrammétrie *géométriquement* et *mécaniquement,* revient sur les origines du nouvel art et s'exprime dans les termes suivants :

« Ce problème qui consiste à effectuer le relevé géomé-
» trique du terrain ou d'objets d'architecture au moyen de vues
» ou d'épreuves photographiques (indiqué par Beautemps-
» Beaupré), la *Photogrammétrie,* fut, dès 1851, définitivement
» développé et rendu pratique avec un succès complet par
» M. *Laussedat* (actuellement directeur du Conservatoire des
» Arts et Métiers à Paris). L'expérience qu'il fit en déterminant
» photogrammétriquement des points du plan de Paris fut
» appréciée très favorablement en 1860 par l'Académie des
» Sciences.

» *En Allemagne,* les travaux fondamentaux de *Laussedat*
» furent connus en 1865 par un article de M. *Aimé Girard,*
» publié dans le *Journal des Débats* et reproduit dans les
» *Archives photographiques de Berlin.*

» M. *Meydenbauer* reprit alors le sujet, développa la mé-
» thode au point de vue pratique et la propagea, en se servant
» des objectifs grands-angulaires de Steinheil et de Busch, qui
» se trouvaient, dès cette année, dans le commerce et qui
» permettaient d'obtenir des projections centrales exactes de
» 90° d'amplitude.

» Le *grand État-major* avait aussi dès lors porté son at-
» tention sur cette question et il obtint, entre autres, des ré-
» sultats excellents dans des relevés faits en 1870, sans la par-
» ticipation de Meydenbauer. »

Il me semble, d'après cela, que la question de priorité n'est pas seulement éclaircie, mais que la date de 1865 est bien celle qui fixe l'époque où les Allemands ont commencé à s'occuper de la Photogrammétrie appliquée à l'étude du terrain.

Quoi qu'il en soit et pendant que je suis en train de remettre les choses au point, comme ces mêmes voisins paraissent croire qu'ils ont découvert les Alpes, je considère comme un devoir de vous prouver que, sous ce rapport, ainsi que sous tous les autres, ils ont été devancés depuis longtemps et encore par un Français (1). Pendant près de dix ans, en effet, de 1858 à 1868, notre savant et infatigable compatriote A. Civiale a exploré, dans des conditions autrement difficiles qu'aujourd'hui, les Alpes françaises, suisses, italiennes et autrichiennes, au double point de vue du géographe et du géologue. Je fais mettre sous vos yeux quelques-unes des magnifiques épreuves du format 27×37 réunies en panoramas qu'il a obtenues sur papier ciré sec pendant sa longue campagne. Vous pouvez voir qu'elles ne le cèdent en rien à celles des officiers italiens que je vous ai montrées tout à l'heure et qui toutes sont postérieures à 1878.

Je n'ai que très peu de renseignements précis sur l'importance que l'on accorde à la Métrophotographie dans les autres pays de l'Europe.

Les Autrichiens, qui cultivent toutes les branches de la Photographie avec tant de goût et tant d'ardeur, sont peut-être ceux qui se rapprochent le plus de nous dans la conception de leurs appareils aussi bien que dans les méthodes d'exécution. Un de leurs constructeurs, Lechner, s'est distingué en exécutant des photothéodolites pour M. Pollack et pour d'autres inventeurs (2).

(1) Je sais bien que l'on va trouver que j'insiste trop sur ces questions d'amour-propre national, mais on m'accordera du moins que je suis dans le cas de légitime défense, quand on aura lu le passage suivant d'un article du capitaine Carlo Marselli, récemment publié et intitulé : *La Fototopografia applicata alla costruzione delle carte alpine.*

« Il problemo fu studiato tanto in Italia quanto in Germania e in Francia, » ma siccome soltanto in Italia si è arrivati ad ottenere *una vera e buona* » *fototopografia*, così mi limiterò ad accennare brevemente le varie fazi » degli studi fatti da Italiani por conseguire quel risultato di cui oggi il » nostro paese può **meritamente andar superbo.** »

Et je pourrais faire d'autres citations tout aussi abracadabrantes.

(2) Ces appareils figurent, en ce moment, à l'Exposition universelle de Photographie du Champ de Mars (avril 1892).

Les Espagnols et les Portugais se sont occupés de Métrophotographie depuis près de trente ans. J'ai été en correspondance, à ce sujet, avec plusieurs savants ingénieurs de ces deux pays et j'ai même envoyé, à cette époque, un Mémoire sur *l'application de la Photographie au lever des plans* qui a été couronné par l'Académie de Madrid. Je n'ai toutefois vu aucun des résultats qui ont pu être obtenus.

Les Anglais et les Américains, qui emploient beaucoup la Photographie dans leurs reconnaissances pittoresques, comme vous pouvez le constater sur les admirables vues prises dans les montagnes Rocheuses, dans le Colorado et dans le Yellowstone Park que je fais projeter, ne paraissent pas en avoir tiré un grand parti au point de vue de la Topographie géométrique (1).

Aux États-Unis, toutefois, j'ai trouvé, en 1886, M. le lieutenant Henry A. Reed, U. S. Army, occupé à Westpoint de cette question qu'il étudiait déjà, depuis quelque temps, dans les publications françaises. M. Reed a publié, il y a trois ans, un intéressant Ouvrage intitulé : *Photography applied to Surveying*, dans lequel il a résumé avec beaucoup de talent notre méthode et les autres travaux de nos compatriotes, sans oublier M. Javary dont il donne le plan de Sainte-Marie-aux-Mines que je vous ai montré tout à l'heure.

J'aurais encore bien des choses à vous dire, mais je crains déjà d'avoir abusé de votre attention et de votre patience.

Pardonnez-moi, encore une fois, d'avoir trop souvent parlé de mes travaux, de ceux de mon dévoué et habile collaborateur M. le commandant Javary et de nos autres compatriotes que j'ai le regret de n'avoir pas tous nommés.

Si quelqu'un, parmi vous, était disposé à me reprocher les préoccupations patriotiques et même personnelles que j'ai laissé paraître, je lui répondrais que d'autres, avant lui, m'ont

(1) Le lieutenant anglais E. J. Davies, des grenadiers de la garde, dans le numéro du *Journal of the royal united service Institution*, d'avril 1892, confirme ce que j'avançais, en reconnaissant que la Métrophotographie n'avait pas réussi en Angleterre. Pour éviter de nouveaux échecs, M. le lieutenant Davies reproduit, d'après le lieutenant Reed, la méthode que celui-ci nous avait si loyalement empruntée.

accusé d'être resté trop longtemps impassible devant la manière dont on s'appropriait ce que nous avons fait, souvent sans en rien dire, tout simplement, d'autres fois en cherchant à faire des confusions de dates et en allant chercher des noms de savants illustres ou plus ou moins recommandables sans doute, mais qui n'avaient contribué en rien à mettre sur la voie de la solution généralement adoptée aujourd'hui ([1]).

Je n'ai point prémédité une plaidoirie, mais elle s'est imposée au fur et à mesure que j'étais amené à mettre sous vos yeux des documents historiques qui prenaient, en quelque sorte, le caractère de pièces à conviction.

Dans tous les cas, personne, je l'espère, ne me blâmera d'avoir cherché à démontrer que nous aurions le plus grand tort de nous désintéresser des progrès d'un art nouveau, né en France, cela est incontestable — je parle de la Métrophotographie, — et qui est aujourd'hui largement cultivé et exploité autour de nous.

Je voudrais espérer, enfin, que cette nouvelle démonstration de l'utilité de la Photographie pour l'avancement des sciences, des arts et de l'industrie, ajoutée à celles qui ont été données devant vous par mes prédécesseurs (sans préjudice de celles que viendront faire les collaborateurs qui nous suivront), déterminera le gouvernement de la République ou, à son défaut, quelque généreux Mécène à nous mettre en état de conserver le rang que nous occupons encore, mais qui nous est si vivement disputé.

([1]) On a vu qu'il y avait de très honorables exceptions, en tête desquelles je dois placer M. Guido Hauck et M. le lieutenant Henry A. Reed.

DE L'ENREGISTREMENT

PAR LA PHOTOGRAPHIE

DES PHÉNOMÈNES NATURELS,

CONFÉRENCE DU 21 FÉVRIER 1892,

Par M. TRUTAT,

Directeur du Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse.

MESDAMES, MESSIEURS,

Les applications de la Photographie sont devenues aujourd'hui si nombreuses, qu'il n'est pas de science, d'art ou d'industrie qui ne demande son appui.

La rapidité d'exécution des images photographiques, leur exactitude absolue permettent souvent de fixer d'une façon nette et précise un fait fugitif, que l'œil a peine à saisir dans ses détails, que le dessinateur le plus habile ne pourrait représenter exactement.

Cette authenticité des images photographiques est précisément la qualité première que réclament les observations scientifiques; et elle est telle qu'elle ne peut être mise en doute : l'objectif ne peut se tromper.

Déjà, dans ces conférences du Conservatoire, vous avez pu voir quelques-unes de ces applications scientifiques de la Photographie : aujourd'hui je dois traiter de son application à l'enregistrement des phénomènes naturels.

Deux méthodes différentes doivent être employées : l'une, que je pourrais appeler la méthode directe, use des procédés

et des appareils ordinaires de la Photographie; elle s'applique surtout aux recherches du naturaliste.

L'autre méthode, ou méthode indirecte, est plutôt celle du physicien; elle enregistre les indications données par les instruments influencés par la pesanteur, la chaleur, la lumière, l'électricité.

C'est par cette seconde méthode que nous allons commencer, et nous examinerons successivement comment la Photographie a été appelée à inscrire les oscillations du baromètre, de l'électromètre, du magnétomètre; enfin, nous verrons que la Photographie a été appelée à enregistrer la marche des hautes températures, des matières explosibles, et qu'elle peut encore servir à l'étude de certains phénomènes du même genre.

Appareils enregistreurs employés en Météorologie.

La Photographie a été appliquée avec succès aux appareils enregistreurs employés en Météorologie, et divers instruments ont été combinés pour obtenir des diagrammes sur papier sensible de la marche du baromètre, du thermomètre, de la boussole et de l'électromètre.

Dans ces appareils, un pinceau lumineux, chargé d'influencer la surface sensible, est tantôt intercepté, dans une partie plus ou moins étendue, par les oscillations de la colonne de mercure du baromètre ou du thermomètre; et ce pinceau lumineux plus ou moins allongé dans le sens vertical trace ainsi une courbe que recueille le papier sensible, animé d'un mouvement régulier, sur lequel il est projeté.

Dans d'autres instruments, au contraire, un rayon lumineux simple est réfléchi par un miroir attaché à la partie sensible, mobile de l'appareil : l'aiguille aimantée de la boussole par exemple, et trace sur le papier sensible les courbes d'oscillations.

Voici quelques-uns de ces appareils dont je n'ai à vous décrire que la partie photographique ([1]).

([1]) Grâce à l'obligeance de M. Pellin, nous avons pu mettre sous les yeux de notre auditoire un appareil enregistreur de M. Mascart, et c'est à lui également que nous devons les figures ci-jointes.

Électromètre de M. Mascart (*fig.* 1). — Une boîte fermée de toutes parts porte à sa face antérieure une fente à ouverture

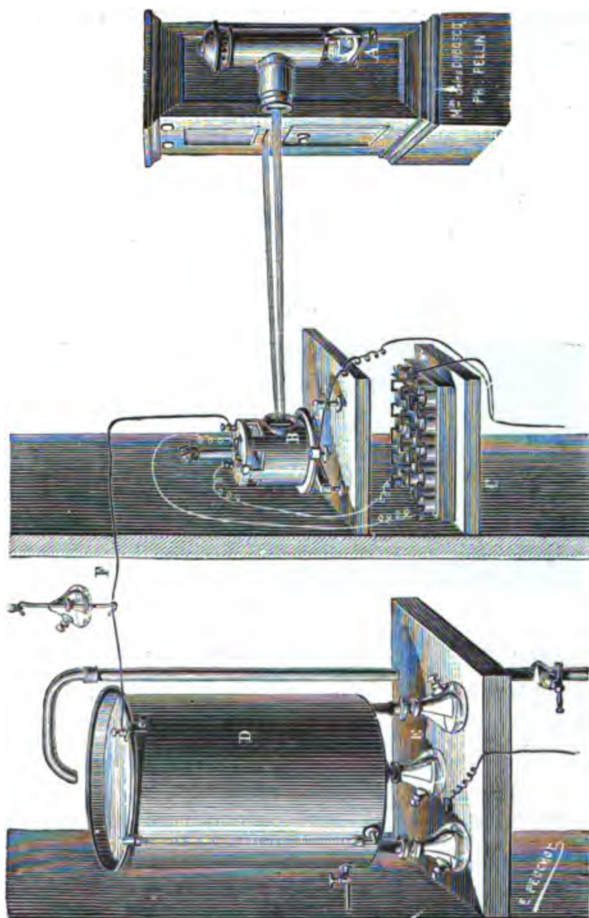


Fig. 1. — Électromètre enregistreur de M. Mascart.

variable qui donne entrée au rayon lumineux, projeté par le miroir de l'électromètre B. Ce rayon lumineux est fourni par une lampe A attachée aux côtés de la boîte.

En avant du foyer lumineux, une lentille et une fente étroite permettent de limiter convenablement le pinceau lumineux et

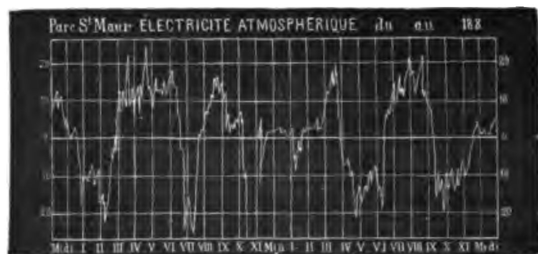
de l'envoyer sur le miroir de l'électromètre, et celui-ci est disposé en un point tel qu'il vienne se réfléchir dans la fente de la boîte.

Là il rencontre un châssis muni d'une feuille de papier sensible (gélatinobromure) et animé d'un mouvement régulier, grâce à une horloge à poids contenue dans la même boîte.

Le papier est placé entre deux feuilles de verre sur lesquelles ont été tracés au diamant des lignes et des chiffres, destinés à donner les heures; une rapide exposition du châssis à la lumière imprime d'un coup ces indications.

Bien entendu, l'appareil est enfermé dans une chambre

Fig. 2.



complètement obscure; car, sans cela, le papier serait impressionné dans toute sa surface par la lumière diffuse qui pénétrerait par la fente de la boîte.

A l'opposé, et à la distance voulue, se place l'électromètre B.

Voici un diagramme (*fig.* 2), obtenu au moyen de cet instrument.

Magnétomètre de M. Mascart (*fig.* 3). — Le principe de cet appareil est le même, mais ici un système de prismes et de miroirs permet d'enregistrer simultanément les oscillations des trois barreaux aimantés B, C, D.

Et sur le diagramme ci-joint (*fig.* 4) vous pouvez voir les trois courbes ainsi produites par la déclinaison, la composante verticale et la composante horizontale.

La régularité de marche de ces appareils et leur sensibilité ne laissent rien à désirer, aussi sont-ils utilisés avec succès au



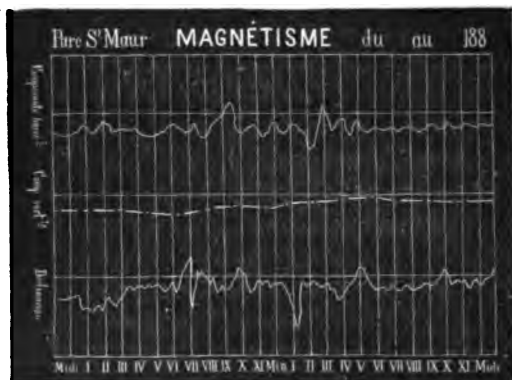
Fig. 3. — Magnétomètre enregistreur de M. Mascart.

Collège de France, aux Observatoires de Paris, Saint-Maur, Clermont-Ferrand, Toulouse, Nice, Florence, Varsovie, etc.

En Angleterre, des instruments de même genre ont été combinés par Brooke, et voici les thermomètre, psychromètre et baromètre enregistreurs de cet auteur. Ici le rayon lumineux est modifié dans sa hauteur par les oscillations de la colonne de mercure.

En Belgique, M. van Rysselberghe a combiné un appareil

Fig. 4.



enregistreur photographique universel, qui donne toutes les indications que demande la Météorologie.

Appareils enregistreurs divers.

M. Le Chatelier s'est servi de l'enregistrement photographique pour étudier la marche de la température dans la fusion des métaux et dans le changement d'état de l'argile soumise au feu.

MM. Le Chatelier et Malard ont également utilisé cette méthode dans leur étude sur les mélanges gazeux explosifs; et les diagrammes qu'ils ont obtenus leur ont permis d'analyser très exactement les différentes phases de l'explosion de ces mélanges : travaux faits par la commission du grisou.

Mais là ne se bornent pas les cas où l'enregistrement photographique pourrait être utilisé; rien ne serait plus facile, par exemple, que d'appliquer cette méthode à l'ingénieux appareil de M. Marcel Deprez, au moyen duquel il vérifie les variations de pression qui se produisent dans le cylindre des machines à vapeur.

Il y aurait également lieu d'employer cette méthode, comme me le disait le savant professeur du Conservatoire, pour l'étude

des courants et de leurs variations; il serait facile d'établir ainsi un contrôle des plus sensibles pour juger de la marche des appareils producteurs de courants, d'un usage si répandu aujourd'hui. Il suffirait, en effet, d'interposer dans le courant à étudier un galvanomètre de M. Deprez muni d'un miroir.

Enfin, et ceci me paraît devoir être d'une importance capitale: avec la méthode que je préconise, le télégraphe écrivant, dessinant serait de construction très simple, sans mécanisme compliqué. Un galvanomètre et un pantographe suffisent pour transmettre à une distance quelconque une signature au besoin.

Voilà l'instrument merveilleux dont M. Marcel Deprez a eu l'obligeance de m'exposer le projet, que j'ai vu fonctionner en quelque sorte dans son laboratoire.

Espérons que la mise en pratique, que la construction de l'appareil dont je vous parle sera bientôt chose faite; et vous conviendrez avec moi que, dans ce cas, la Photographie aura prouvé une fois de plus son importance; et la science française n'aura rien à envier à celle des électriciens du nouveau monde.

Les physiciens ont encore employé la Photographie à l'étude de certains phénomènes, tels que: mesure des coefficients de dilatation, étude de l'étincelle électrique, du spectre ultraviolet, des raies du spectre, des phénomènes de polarisation, des variations d'intensité de la lumière solaire, etc., etc., et dans toutes ces circonstances les documents photographiques sont de première importance.

Applications à l'Histoire naturelle.

La seconde méthode, ou méthode directe, est celle qui est surtout utilisée en Histoire naturelle; et là nous allons nous trouver en présence d'une foule d'applications, car il n'est pas une branche de cette science qui ne mette à profit les représentations photographiques.

Je vais faire passer sous vos yeux quelques-unes de ces applications, car c'est pièces en mains que je pourrai seulement vous convaincre de l'exactitude de mes affirmations.

J'aurai donc recours aux projections, seule méthode qui me permette de faire voir, à un auditoire aussi nombreux que celui qui veut bien m'écouter, des images de dimensions forcément assez restreintes.

Dans toutes les conférences qui ont précédé celle-ci, dans celles qui la suivront, la lanterne à projections aura toujours été l'auxiliaire du conférencier; il me semble donc utile de dire quelques mots de cette méthode, d'autant plus qu'elle est intimement liée au sujet qui nous occupe en ce moment.

Il y a déjà bien longtemps, un savant moine d'Italie, le P. Kircher, inventait la lanterne magique; mais cet instrument, que tout le monde connaît comme jouet d'enfant, réunissait à plaisir de nombreux défauts; il manquait de lumière et les images qu'il donnait n'avaient pas une netteté suffisante.

A la fin du siècle dernier, la lanterne magique devint l'appareil de fantasmagorie, et, plus tard, l'emploi de la lumière de Drummond permit de donner de plus grandes dimensions aux images, en augmentant beaucoup leur luminosité, tout en ne changeant pas le but de la lanterne magique. Il faut arriver à l'année 1838 pour trouver la première application scientifique de la lanterne magique, pour trouver la première projection. Celle-ci fut faite par Soleil et l'abbé Moigno; elle consistait à projeter sur la toile les principaux phénomènes d'optique; elle eut lieu devant Arago et Dumas et reçut leur entière approbation.

Entre les mains de Soleil, le joujou du P. Kircher devint un appareil de Physique véritable, et la lanterne à projections remplaça la lanterne magique. Jules Duboscq appliqua plus tard la lumière électrique à la lanterne de Soleil, et, en 1855, il eut l'heureuse idée d'employer les images photographiques : de ce jour était née la méthode des projections.

Assisté de l'abbé Moigno, il transporta son instrument en Angleterre et donna chez nos voisins d'outre-Manche les premières conférences scientifiques avec projections.

Plus tard enfin, l'idée de Soleil et de Duboscq fut réimportée chez nous et elle n'eut tout son succès que lorsque les Anglais l'eurent mise à la mode chez eux.

En même temps, un autre constructeur, M. Molteni, dont la

maison s'était déjà fait une spécialité dès la fin du siècle dernier dans les appareils de fantasmagorie, s'occupa aussi avec succès des appareils à projections; et, depuis longues années, c'est M. Molteni que nous trouvons partout, dans les conférences, manœuvrant avec autant d'habileté que de complaisance ses excellents instruments, et cherchant ainsi, en payant largement de sa personne, à propager cette méthode des projections.

Je tenais à bien établir que les projections étaient d'invention française, qu'elles étaient nées à Paris, et que c'était à tort que nos voisins d'outre-Rhin ou d'au delà de la Manche s'en étaient attribué le mérite.

Ceci étant dit, revenons à notre sujet et étudions d'abord les phénomènes de l'atmosphère qui viendront compléter en quelque sorte ce que nous avons dit déjà des appareils enregistreurs.

Phénomènes atmosphériques. — Les *éclairs* ont été photographiés maintes fois, et les images ainsi produites ont entièrement changé l'idée qu'on se faisait à leur sujet. Si vous regardez un dessin représentant un orage, vous verrez que l'artiste a rendu l'éclair par un trait formant des zigzags aigus; et l'administration des Télégraphes a, pour ainsi dire, donné une consécration officielle à cette représentation de la foudre, en la gravant sur son cachet, en la brodant sur l'uniforme de ses agents.

Eh bien, c'est là une erreur que la Photographie a dévoilée, car il est assez facile d'obtenir des clichés d'éclairs, en suivant les instructions données à ce sujet par la Société Royale météorologique de Londres. Il suffit de braquer à l'avance, de jour, une chambre obscure sur la région du ciel où se produisent ordinairement les éclairs; on met au point sur un objet éloigné, et, lorsqu'un orage éclate pendant la nuit, il suffit de mettre une plaque sensible dans l'appareil et de l'abandonner ouvert. On peut faire poser la plaque pendant la durée de plusieurs éclairs, qui s'impriment également sur la plaque, mais donnent souvent un enchevêtrement de traits qu'il vaut mieux éviter, en changeant de châssis après chaque éclair.

Voici quelques exemples (1):

[1. Éclair des peintres, d'après Cicéri. — 2. Éclair, cliché de M. Moussette. — 3. Éclair observé à Billancourt, cliché de M. Desquesnes.]

Ces photographies montrent que l'éclair se subdivise en une infinité de traits, qui partent le plus souvent d'un point d'éclatement.

La Photographie ne se contente pas de photographier l'éclair, elle peut aussi enregistrer les effets produits sur les corps qu'elle vient frapper. La foudre peut en effet produire des effets mécaniques considérables; elle fait éclater les arbres, brise les murailles, etc., etc., mais ces accidents n'ont pas de caractères particuliers. Dans d'autres cas, elle fond la surface des roches qu'elle atteint et donne naissance à des sortes de gouttelettes vitreuses que l'on appelle des fulgurites.

[4. Fulgurite au Pic du Midi.]

Voici encore un autre exemple d'effet produit par la foudre; c'est une

[5. Glace foudroyée (M. Pellin).]

La glace n'a pas éclaté, l'étamage a seul été fondu, et a formé une sorte de moirure.

Nuages. — C'est au milieu des nuages que l'éclair prend naissance, examinons donc les nuages et ceci sera le premier chapitre d'une étude que nous pourrons appeler *l'étude de l'eau dans la nature*, et qui me servira d'exemple comme application de la Photographie aux études du naturaliste.

L'eau joue un rôle de premier ordre, elle se retrouve partout, elle est pour ainsi dire l'image complète de la vie de la matière. Par ses transformations successives elle vivifie tout: à l'état de vapeur et de vapeur surchauffée et sous pression, elle attaque toutes les roches dans l'intérieur du globe, où elle

(1) Devant l'impossibilité de faire figurer les photographies qui ont été projetées à l'appui de ces démonstrations, nous avons dû nous contenter d'en citer simplement les titres, et de laisser de côté les explications qui les accompagnaient.

produit des effets dynamiques d'une énorme puissance et dont les phénomènes volcaniques nous donnent l'idée.

A l'état de vapeur dans l'atmosphère, l'eau forme les nuages. A l'état liquide, elle tombe en pluie à la surface du sol, et là elle modifie cette surface du sol, en même temps qu'elle est une des sources de la vie végétale et de la vie animale. A l'état solide, elle nous donne la neige et la glace.

Examinons chacune de ces transformations afin de voir ce que la Photographie pourra nous donner pour l'étude de chacune d'elles.

Les nuages sont assez faciles à photographier, et cette étude née d'hier promet déjà d'intéressantes constatations. A l'Observatoire du Vatican, M. F. Mannucci a déjà réuni une collection importante de photographies de nuages, et vous trouverez dans les collections du Conservatoire une série remarquable d'épreuves de l'habile astronome romain.

Voici quelques exemples :

[6. Nuage au Vésuve. — 7. Cumulus (M. Londe). — 8. Coucher de soleil dans les nuages au Pic du Midi. — 9. Coucher de soleil à Biarritz. — 10. Au-dessus de la Maladetta. — 11, 12, 13, 14. La mer de nuages au Pic du Midi (M. Janssen).]

Les nuages se photographient au moyen des appareils ordinaires; mais on n'obtient tous les effets désirables qu'en usant des procédés orthochromatiques. Il faut en effet éteindre le plus possible la lumière bleue du ciel, la rendre moins photogénique que celle des nuages, ce qui s'obtient en interposant un milieu coloré, un verre jaune.

Les effets de mirage peuvent aussi se photographier, mais jusqu'à présent les occasions se sont rarement rencontrées où le photographe était à l'endroit et au moment voulu pour faire un cliché: voici cependant un

[15. Effet de mirage en Tunisie.]

et un effet du même genre que j'ai eu la bonne fortune de faire l'année dernière en Suisse.

[16. Effet de mirage au Wetterhorn.]

Mers. — L'eau à l'état liquide est surtout intéressante lorsqu'elle est en mouvement, mais j'ai cependant à vous montrer un effet de calme pendant lequel s'est produit un phénomène intéressant.

[17. Mer phosphorescente.]

Peut-être cette vue n'est pas ici à la place qu'elle devrait occuper, car la phosphorescence de la mer est due à un phénomène qui regarde le zoologiste: à la présence d'une infinité d'animaux microscopiques, dans lesquels se développe une phosphorescence véritable; ce n'est donc pas l'eau qui est phosphorescente, mais bien les animaux qu'elle contient.

Examinons maintenant la mer en mouvement :

Les vagues se produisent sous l'action du vent et elles augmentent d'intensité avec lui. Un vent léger ride seulement la surface de l'eau, c'est le cas de la mer phosphorescente que je viens de vous montrer. Le phénomène s'accentue en donnant une mer moutonnée : c'est-à-dire que le sommet de la petite vague est projeté trop haut pour se maintenir en équilibre, elle se brise et donne naissance à ces taches blanches qui rappellent des moutons dans un pré.

[18. Mer moutonnée.]

La vague plus forte exagère cet effet et donne lieu à ces grandes murailles liquides qui atteignent plusieurs mètres de haut.

[19, 20. Vagues (M. Londe).]

Mais il arrive parfois que la vague semble s'élever en colonne et se joint aux nuages, effet de tourbillon auquel les Espagnols qui l'ont observé les premiers ont donné le nom de *tornado.*

[21. Tornado photographié dans l'État de Dakota, 28 août 1884 (collection du Conservatoire).]

Neige. — Mais, lorsque la température s'abaisse au-dessous de zéro, l'eau se solidifie, elle se congèle; et lorsque cette eau se trouve dans un état de division extrême, dans les nuages,

elle donne lieu au phénomène de la neige. Celle-ci est formée de fines aiguilles de glace à structure cristalline; je n'ai malheureusement pas d'exemples photographiés à vous montrer, mais il est facile de reproduire ces formes de la neige en les recueillant sur un drap noir, et en les photographiant au plus vite, avant qu'elles n'aient commencé à fondre.

Grâce à ces petites aiguilles de glace, à ces aspérités qui hérissent chaque flocon de neige, celle-ci s'accroche partout.

[22, 23. Effets de neige.]

Si la neige fond et que le froid apparaisse immédiatement, elle se transforme en

[24. Stalactites de glace.]

Entassée sur le sol, la neige s'agglomère et elle forme alors un corps assez solide pour porter l'homme; mais alors, avec l'effet de la pesanteur, elle se détache des pentes où elle s'est accumulée, elle se brise et donne lieu à la formation de grands blocs de neige.

[25. Blocs de neige aux chutes du Niagara.]

D'autres fois, la congélation de l'eau atmosphérique se produit d'une façon différente, et cela au contact d'un corps froid: c'est le givre. Celui-ci s'attache surtout aux branches d'arbres, aux menus objets qui couvrent le sol.

[26, 27. Effets de givre.]

Quelquefois, en montagne surtout, le givre forme de grandes lamelles cristallines.

[28. Fleurs de glace de la vallée du Lys (Pyrénées).]

Le givre peut fondre en donnant naissance comme la neige à des stalactites de glace.

[29, 30. Stalactites de glace et givre.]

Glaces de rivière. — Jusqu'à présent nous n'avons eu affaire qu'à de la glace d'origine secondaire et produite par la transformation de la neige; nous la retrouverons encore tout à l'heure dans les glaciers, mais je dois maintenant vous la montrer dans son domaine primitif, à la surface de l'eau.

La glace d'eau douce couvre d'abord la surface des étangs, des eaux tranquilles, mais par un abaissement de température suffisant elle peut aussi envahir les masses d'eau en mouvement, même les fleuves les plus impétueux.

[31. Embâcle de la Garonne en 1891.]

L'embâcle de la Garonne à Toulouse vous montrera la marche du phénomène : congélation de la surface du fleuve, bris des glaces produit par oscillations du niveau de l'eau, affaissement principalement. A Toulouse, la débâcle a été provoquée par une crue subite qui a soulevé et disloqué toute la masse des glaces.

[32, 33, 34, 35. Embâcle de la Loire (M. Schrader).]

Les photographies de l'embâcle de la Loire que je dois à l'obligeance de M. Schrader vous montreront l'intensité que peut prendre cette accumulation des glaces; refoulées par le courant, elles ont été jetées sur les rives et se sont étendues au loin, de chaque côté du fleuve.

Glaces des montagnes. — Nous allons trouver à user largement de la Photographie dans l'étude des glaces des montagnes, les glaciers alpins.

Lorsqu'on arrive en vue d'une chaîne de hautes montagnes, on est frappé par l'aspect éblouissant des sommets les plus élevés; même au plus fort de l'été, la neige et la glace les recouvrent.

Telle la Jungfrau, vue d'Interlaken.

[36. Jungfrau.]

Si nous approchons davantage, si nous choisissons une

époque où la neige a presque entièrement disparu, nous nous trouverons devant une masse glacée dont cette vue de la chaîne du Mont-Blanc vous permettra de constater l'origine, la vie et la fin.

[37. La chaîne du Mont-Blanc.]

Dans les sommets élevés, la neige couvre tous les points où elle peut s'accrocher : elle forme des *champs de neige;* dans les grandes dépressions, elle s'accumule en couches épaisses sous l'action des vents ; par l'effet de la pesanteur, elle se tasse, devient plus compacte et forme des *névés.*

Plus tard, sous l'action du soleil, les parties superficielles fondent; l'eau qui est ainsi produite s'infiltre entre les grains du névé; chaque nuit la température s'abaisse, et cette eau liquide se congèle, emprisonnant les grains de névé et faisant bientôt du tout une masse de glace.

Mais celle-ci descend sous l'action de différentes causes; elle est bientôt comprimée sous le poids des masses supérieures du névé qui s'accroît sans cesse, et au bout de peu de temps elle est transformée en glace compacte semblable à du verre.

Ainsi formé, le glacier descend vers les parties basses; mais pendant sa marche dans la montagne, il reçoit à sa surface des débris de roches plus ou moins volumineux, souvent énormes, que les agents atmosphériques détachent continuellement des sommets qui l'entourent; et ceux-ci cheminent avec lui.

A mesure que le glacier descend, il rencontre des couches d'air plus chaudes, et il fond et vient mourir plus ou moins loin dans la vallée. Là il abandonne les débris de roches qu'il a transportés, et les accumule en remblais de formes et d'allures spéciales, les *moraines.*

Enfin, de son extrémité inférieure, s'écoulent les eaux de fusion, origine première des grands fleuves qui naissent dans la montagne.

Sur les photographies que je vais faire passer sous vos yeux, vous pourrez voir, avec plus de détails, chacune des phases de cette vie du glacier, mais, comme je viens de vous le montrer,

cette vue générale de la chaîne du Mont-Blanc permettait d'en saisir tout l'ensemble.

[38. Champs de neige du Vignemale.]
[39. Champs de neige du Mont-Blanc.]

Ici le névé se fend déjà, en glissant sur les pentes du rocher, car la glace n'est pas un corps visqueux, elle se brise nettement comme tous les corps solides.

[40. Champs de neige avec séracs.]
[41. Stratification du glacier du Seil de la Baque.]

Chaque chute de neige est séparée par une couche de menus débris.

[42. Fentes du glacier au Mont-Blanc.]
[43. Formation des crevasses.]
[44. Crevasses en éventail (M. Vallot).]

D'après M. Vallot, ces crevasses en éventail seraient l'origine des séracs, grandes masses isolées de glaces, que l'on rencontre à la surface du glacier. Ces crevasses en éventail reproduisent avec une similitude remarquable les dispositions observées par M. Tresca dans ses expériences sur l'écoulement des corps solides.

Voici des masses de plomb qui ont été comprimées au moyen de la presse hydraulique dans une boîte d'acier percée d'un trou. Sous l'effort de la pression, le plomb s'est échappé, il s'est fendillé et étalé en éventail comme vous l'avez vu dans le glacier des Bossons photographié par M. Vallot.

[45. Fentes du glacier de la Maladetta.]
[46. Grande crevasse au Mont-Blanc.]
[47, 48, 49, 50, 51, 52. Formation des aiguilles.]
[53. Sérac percé.]

Le sérac que je vous montre maintenant offre une particularité qui mérite de nous arrêter un instant : c'est une cavité de forme régulière que je ne pourrai mieux comparer qu'à une larme batavique. J'avais souvent observé des cavités de ce genre,

et je m'étais demandé quelle pouvait en être l'origine, lorsqu'en examinant avec M. Tresca la série des résultats obtenus par le savant professeur son père dans ses études sur l'écoulement des corps solides, j'ai été frappé de retrouver des cavités de formes identiques. Celles-ci se produisent lorsque la pression a été arrêtée; à chaque reprise de pression, une cavité en larme s'est formée. Évidemment c'est là ce qui doit se passer dans le glacier, car nous trouvons là tous les éléments similaires aux expériences de M. Tresca : corps solide, fortement comprimé, enserré entre des parois rigides, arrêts et reprises de pression.

Je dois ajouter que M. Tresca a également soumis de la neige à de fortes pressions dans des boîtes à ouverture libre, et qu'il a obtenu, comme vous pouvez le voir, une masse fendillée, couverte d'aiguilles et celles-ci étant dans une direction perpendiculaire à l'axe de la pression.

[54. Expérience de M. Tresca sur l'écoulement de la glace.]
[55. Glaces contournées.]
[56. Blocs et séracs.]
[57. Torrent inférieur.]
[58. Source de l'Aveyron.]
[59. Sous le glacier au Gabiétou (Gavarnie).]

Si nous pénétrons sous le glacier, nous pourrons constater *in situ* les effets qu'il produit; polissage des roches, stries sur ces roches (celles-ci rectilignes et parallèles), rainures, cailloux entraînés entre la glace et la roche, ceux-ci couverts de raies dirigées en tout sens.

[60. Caillou rayé du glacier des Posets.]
[61. Roches moutonnées.]
[62. Roches polies.]
[63. Roches striées.]
[64. Coups de gouge.]

Les blocs tombés à la surface du glacier descendent avec lui.

[65. Bloc Charles au glacier de la Maladetta.]

En observant leur marche, on peut savoir quelle est la rapi-

dité de descente de la glace. On peut encore, ainsi que je l'ai fait à la

[66. Station de la Dent de la Maladetta,]

faire une

[67. Plantation de piquets sur le glacier, alignée d'après deux points de repère fixes,]

et mesurer directement la marche des piquets.
Arrivés à l'extrémité du glacier, les débris rocheux sont déposés sur le sol et forment des moraines.

[68. Moraine frontale des Posets.]

Beaucoup de ces débris s'accumulent sur les bords du glacier et forment de chaque côté des cordons, des moraines latérales; lorsque deux glaciers viennent à se rejoindre, ces moraines forment de longs cordons au milieu du glacier.

[69. Moraines médianes.]

Enfin, quelquefois les blocs de grandes dimensions préservent la glace sous-jacente de la fusion et donnent naissance à des

[70. Tables de glaciers.]

Un effet analogue se produit quelquefois dans les anciennes moraines, ici la pluie étant l'agent destructeur, et donne lieu aux tables de boue.

[71. Tables de Saint-Paul.]

Les blocs erratiques que l'on rencontre parfois dans les basses vallées sont les témoins d'anciens glaciers.

[72, 73. Bloc erratique d'Oo.]

Glaciers du Nord. — Ce n'est pas seulement dans les pays de montagnes qu'il faut étudier la glace, et les régions polaires vont nous montrer quelques manières d'être toutes particu-

lières. Grâce à M. Rábot, je vais pouvoir faire passer sous vos yeux les principaux phénomènes glaciaires que l'on observe dans le Nord.

La mer se gèle comme les rivières, lorsque la température s'abaisse suffisamment.

[74. Côte nord du Spitzberg.]
[75. Id. (M. Ménier).]

Mais une particularité de l'orographie de ces régions, que je dois signaler, est celle-ci : la côte est découpée par de profondes dépressions (les fjords) qui laissent pénétrer la mer jusqu'au milieu des montagnes, et c'est là que se produisent surtout les glaces.

[76. Fjord de Norwège.]

D'un autre côté, il faut remarquer que la glace, au lieu de former comme dans les Alpes de véritables fleuves congelés, couvre d'immenses surfaces sensiblement plates; nous pouvons les comparer à des lacs de glace : ils ont reçu le nom d'*inlandsis*. Ceux-ci se divisent par des échancrures, des vallées latérales et arrivent à la mer.

[77. Inlandsis (M. de la Sablière).]
[78. Bords de l'inlandsis de Sortisen.]
[79. Extrémité, avec moraine.]
[80. Extrémité, mer du Spitzberg.]
[81. Embâcle par pression sur les côtes.]
[82. Id.]

A leur arrivée à la mer, les inlandsis se brisent et se transforment en icebergs, glaces flottantes.

[83, 84. Icebergs au Groënland.]
[85. Icebergs au Spitzberg (M. Ménier).]

Telle est l'histoire de l'eau à la surface du globe, telle que la Photographie nous permet de l'établir.

Géologie. — La Géologie peut demander à la Photographie

bien des documents. Sur le terrain, rien de plus facile que de faire des relevés étendus au moyen desquels on pourra reconnaître facilement les horizons géologiques d'une contrée. D'autres fois, le géologue photographe pourra représenter, en quelques secondes, des coupes naturelles qui exigeraient des heures de travail pour le dessinateur le plus exercé.

Quelques exemples vous feront encore mieux saisir l'importance de cette application de la Photographie.

A. Physionomie générale des formations géologiques abruptes calcaires.

[86. Escarpements de Gavarnie. — 87. Muraille de Biousac (Tarn-et-Garonne). — 88. Grotte de Fingal, roches basaltiques.]

B. Structure des couches.

[89. Vallée de fracture de la Vère.]
[90. Bombement central de la même vallée.]
[91. Plissements dans les calcaires de Saint-Antonin.]
[92. Plissements dans les schistes du Poset.]
[93. Discordances de stratifications. Arles.]

C. Phénomènes d'érosion.

[94. Érosions par ruissellement. — Le Boulou.]
[95. Érosions par ruissellement. — Les Demoiselles du Castillet (Ariège).]
[96. Falaises d'Étretat.]
[97. Dolomies de Norwège.]
[98, 99. Dolomies de Montpellier-le-Vieux.]
[100, 101. Granits de Trégastel.]
[102. Le pas de Souci.]
[103, 104. Marmite de géant.]

D. Cavités souterraines.

[105, 106. Abîme.]

E. Concrétions.

[107, 108. Stalactites.]
[109. Stalagmites.]
[110. Rivière souterraine.]
[111, 112. Geysers de la Réserve aux États-Unis.]

Les travaux de laboratoire pourront également trouver un auxiliaire parfait dans la Photographie, et déjà nombre de publications ont usé de planches photographiques pour représenter des fossiles.

[113. Paleotherium, photographié en place dans les carrières d'Issy, par M. Molteni.]
[114. Empreintes du Labyrinthodon de Lodève.]
[115. Ichtyosaure.]
[116. Pointes de flèches de l'âge du renne.]

Nous décrirons tout à l'heure les appareils qui doivent être employés pour l'exécution de ces planches.

Botanique. — Le botaniste peut appeler à son aide la Photographie, soit qu'il veuille représenter des plantes, des arbres vivants et obtenir ainsi des planches donnant l'aspect, la physionomie propre de l'espèce; soit qu'il demande à l'objectif de reproduire des spécimens étalés et séchés, tels qu'on les prépare pour les herbiers.

[117. Bambous. — Jardin d'essai (Alger).]
[118, 119. Palmiers. — Jardin d'essai (Alger).]
[120, 121. Cèdres de Teniet-el-Had (Algérie).]
[122, 123. Arbre géant de Californie.]
[124. Cimes anormales de sapins.]
[125. Algues marines.]

Enfin, la Photographie est utilisée avec avantage dans les recherches de Physiologie végétale; elle enregistre avec toute la précision nécessaire les différentes phases d'un phénomène, telles, par exemple, les expériences de M. Grandeau sur l'effet des différents engrais.

[126. Touffes de blés, provenant de sols et d'engrais différents (M. Grandeau).]

Zoologie. — De même que le botaniste, le zoologiste demande souvent à la Photographie de représenter des animaux

vivants, et la possibilité de les photographier instantanément donne à ces épreuves une vérité absolue :

[127. Girafe.]
[128. Zèbre.]
[129. Dromadaire.]
[130. Éléphants au bain (Prince d'Orléans).]
[131. Crocodile.]
[132. Cheval au galop (M. Londe).]

La représentation de squelettes, soit entiers, soit de leurs parties, est encore plus facile.

[133. Squelette d'hippopotame (M. Molteni).]

Les insectes, convenablement étalés, se reproduisent avec facilité.

[134. Mante religieuse.]

Enfin il est possible, grâce à des appareils spéciaux, de photographier des préparations anatomiques sous l'eau, condition indispensable dans la dissection des invertébrés. Les magnifiques spécimens que je mets sous vos yeux et qui sont dus à M. Donnadieu, vous montrent toutes les ressources de la méthode photographique en pareil cas.

[135. Tortue.]
[136. Poulpe.]

Anthropologie. — Je terminerai enfin cette longue nomenclature, en vous disant quelques mots de l'emploi de la Photographie en Anthropologie. Les premiers observateurs qui ont cherché à représenter les différentes races humaines n'ont pas été heureux dans leurs essais, et, si l'on feuillette les albums des grands voyages du siècle dernier et du commencement de celui-ci, on est frappé de l'inexactitude de presque tous ces dessins. Sans doute, ceux qui les ont faits étaient de véritables artistes, d'habiles dessinateurs, mais ils ne savaient pas voir; et ils dessinaient un nègre d'après le type académique de l'é-

cole, se contentant de le faire noir, et de représenter les détails d'ornements de son costume, de sa figure. Ce n'est que lorsque la Photographie devint l'auxiliaire du voyageur, que les dessins des races humaines furent exacts; et, pour vous en convaincre, vous n'avez qu'à parcourir les planches de la publication que tout le monde connaît : *le Tour du Monde.*

Aussi, je n'ai nul besoin aujourd'hui de recommander l'emploi de la Photographie en pareil cas; c'est chose faite et d'un usage courant.

Quelques exemples vont confirmer ce que je viens de dire :

[137. Habitants de Bethmale (Ariège)]
[138. Javanaises.]
[139, 140. Turcomans (M. Nadar).]
[141. Nègre du Congo.]
[142. Femme des Ouled Nail.]
[143. Femme kabyle.]

Enfin la Photographie est excellente pour représenter les singularités de formes, ou les déformations artificielles.

[144. Ongles de mandarin chinois.]
[145. Pied comprimé de Chinoise.]

Appareils et manipulations.

Quels instruments aurons-nous à employer? La plupart du temps, les appareils ordinaires suffiront au naturaliste, qu'il veuille travailler à l'atelier ou en pleine campagne. Dans quelques cas particuliers, que nous étudierons dans un instant, il aura à faire usage d'instruments spéciaux.

A l'atelier, il choisira une chambre obscure à châssis carré et à soufflet assez long; et il placera cette chambre sur un pied d'atelier un peu lourd, de façon à éviter toute trépidation.

En campagne, il aura recours à une chambre à soufflet, qu'il cherchera légère et solide; le pied sera à coulisse, de façon à permettre d'installer solidement l'appareil, même sur des pentes extrêmes.

La demi-plaque sera le format le plus employé dans ce cas.

Mais, s'il veut réduire son bagage photographique au moindre volume, il se contentera d'un détective 9 × 12 sans pied.

Où convient-il de s'adresser pour avoir sûrement les meilleurs appareils? A Paris, je le dis sans hésiter, et il est absolument inutile de chercher à l'étranger, où nous ne trouverons pas mieux, et où les prix sont toujours plus élevés. Aussi je ne saurais trop m'élever contre la manie de certains, qui prétendent que les appareils construits chez nous sont de qualité inférieure; c'est là une erreur, et à Paris, on a aujourd'hui l'embarras du choix parmi nos constructeurs, et je n'exagérerai en rien en disant que leurs instruments sont parfaits.

Voici deux modèles, qui font partie des collections du Conservatoire : l'un est une chambre de voyage de Jonte, l'autre le détective de Molteni, tous deux excellents et qui ne laissent rien à désirer.

Mais l'objectif, me dira-t-on, où le trouver? Ici encore, je répondrai à Paris, et vraiment je ne saurai trop protester contre la défaveur que l'on cherche à jeter sur nos opticiens. Sans doute, comme le disait M. Wallon dans la conférence qui a précédé celle-ci, c'est en Allemagne qu'ont été inventées les combinaisons optiques actuellement en usage; mais il ne faut pas oublier que nos opticiens français sont arrivés à une fabrication excellente; entre leurs mains, les défauts que pouvaient présenter les premiers instruments étrangers ont totalement disparu. Enfin, condition qui n'est pas à négliger, leurs prix sont de beaucoup inférieurs.

On choisira donc parmi les objectifs symétriques, à angle moyen ou à grand angle, ceux de foyer approprié aux résultats que l'on cherche.

Je ne peux quitter cette question des objectifs sans dire un mot de la transformation qui est au moment de s'opérer et sur laquelle il est bon de faire la part de chacun. A la suite de considérations théoriques, les physiciens allemands ont cherché à améliorer l'achromatisme des objectifs, en combinant des mélanges nouveaux, et qui donnent des verres de qualités toutes particulières. On a fait grand bruit de ces recherches

d'Iéna, et les Allemands ont fait sonner bien haut la supériorité de leur gouvernement, qui avait donné de fortes subventions pour faciliter ces recherches. Cela est vrai, mais il faut ajouter aussi que, malgré tout leur désir de se passer de nous, les Allemands ont été obligés de s'adresser à nos fondeurs pour obtenir des masses bonnes pour le travail. Aujourd'hui les nouveaux verres se font à Paris, et les masses livrées aux opticiens sont de beaucoup supérieures à ce que pouvait obtenir la fonderie d'Iéna. Je prierai donc instamment nos opticiens de prendre en main les nouvelles données ; il faut qu'ils gardent leur place, et je suis certain qu'ils dépasseront rapidement leurs concurrents d'outre-Rhin.

Dans certains cas, les objectifs ordinaires ne sont pas suffisants, et bien souvent, en montagne, j'avais regretté de ne pouvoir photographier en grandeur suffisante des détails de structure que je ne pouvais aborder. Grâce à l'objectif télescopique que voici, la difficulté est facile à vaincre, et M. Jarret, l'habile constructeur qui a combiné cet instrument, a rendu en cela un véritable service aux naturalistes. Je dois dire qu'en ce moment, M. Jarret étudie un perfectionnement important, et les premiers essais nous ont déjà prouvé que les modifications que j'ai indiquées à M. Jarret permettaient d'améliorer singulièrement la netteté des images.

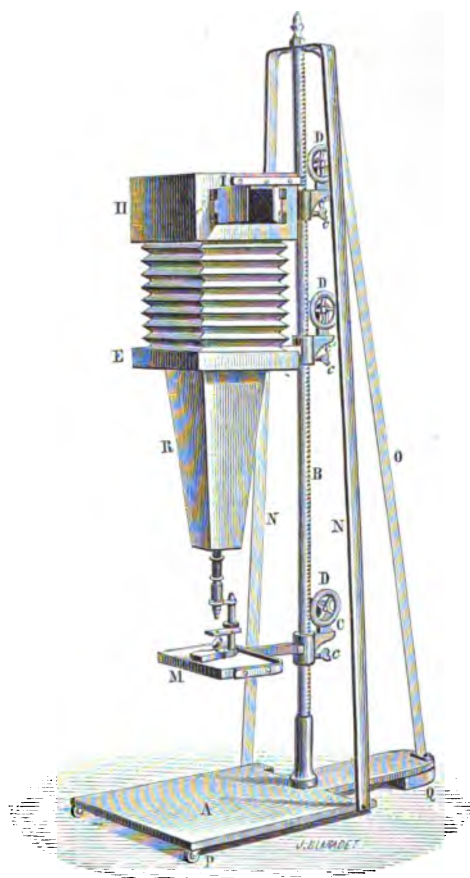
Lorsqu'il s'agit de photographier en grandeur naturelle des objets de dimensions restreintes, une coquille par exemple, on se heurte à certaines difficultés qu'il est bon de savoir éviter.

Le moyen le plus simple consisterait à coller l'objet à photographier sur un carton blanc, et à le reproduire au moyen de la chambre noire ; mais, dans ce cas, il arrive que les ombres portées prennent une trop grande intensité et que les contours de l'objet disparaissent dans cette partie fortement ombrée. Bien souvent, les opérateurs remédient à ce défaut en noircissant au pinceau le fond du cliché, de façon à avoir un fond complètement blanc au tirage. Mais les épreuves obtenues ainsi sont absolument faussées au point de vue artistique, et une ombre très forte est suivie sans transition et sans motif par un clair absolu.

Pour éviter ce défaut, je colle les objets à photographier

sur une glace transparente, maintenue verticale par un chevalet à rainure. J'emploie, pour fixer les objets, de la cire à

Fig. 5.



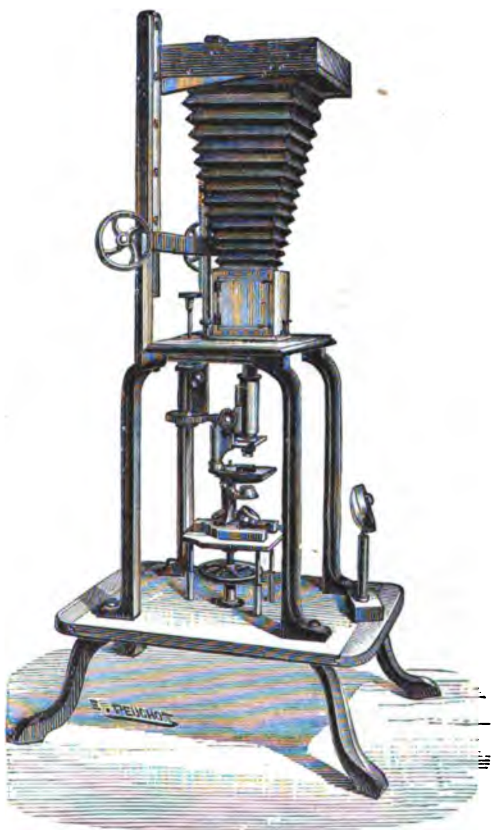
Physiographe Donnadieu.

modeler qui adhère parfaitement au verre, et s'enlève cependant assez facilement. Si les objets (coquilles, par exemple) sont d'épaisseurs différentes, j'ai le soin de ramener leur face antérieure sur le même plan, en élevant à la hauteur voulue

les plus petits, en formant avec la cire à modeler une sorte de tige de longueur déterminée.

En arrière de cette glace ainsi garnie, je place un carton

Fig. 6.



Chambre photomicrographique de Bézu et Hausser.

blanc ou teinté et je l'incline de façon à éclaircir convenablement le fond de la planche. Les ombres portées ne sont pas ainsi supprimées, ce qui donne du relief à l'image, mais elles sont atténuées, demeurent transparentes et laissent toute leur netteté aux contours.

Mais, dans certains cas, il n'est pas possible de dresser ainsi verticalement le sujet à photographier; une dissection par exemple doit être laissée à plat dans la cuvette où elle a été faite, et l'eau dans laquelle elle est plongée est absolument nécessaire pour maintenir chaque chose en place.

Il s'agit donc de placer verticalement l'appareil photographique : deux instruments ont été disposés à cet effet.

Le physiographe de M. Donnadieu consiste essentiellement en une tige verticale, sur laquelle glissent des supports auxquels est attachée une chambre noire à long tirage (*fig.* 5).

Au moyen de crémaillères, il est facile d'amener aux points voulus l'objectif et la glace dépolie, et de photographier en grandeur naturelle, ou bien agrandie, la préparation placée sur le plateau du physiographe.

C'est ainsi qu'ont été obtenues les épreuves que j'ai fait passer sous vos yeux, et leur parfaite exécution démontre amplement l'excellente disposition de l'appareil.

La chambre verticale pour Photomicrographie de MM. Bézu et Hausser (*fig.* 6), quoique combinée spécialement pour la Photomicrographie, peut également être employée comme le physiographe. Cet appareil construit avec tout le soin que savent mettre dans leurs ouvrages les habiles successeurs de Prazmowski, est d'un maniement facile, peu encombrant, et il devrait se trouver dans tous les laboratoires.

Procédés opératoires. — Voici les appareils, quels seront les procédés que le naturaliste doit employer?

Aujourd'hui le gélatinobromure a détrôné tous les anciens procédés, et il ne peut être question que des surfaces sensibles de cette espèce.

Ici encore j'aurais à réclamer la préférence pour les plaques françaises, et lorsqu'on peut trouver chez nous des préparations aussi parfaites que celles qui sortent des usines de MM. Lumière, Guilleminot et autres, il me semble absurde d'aller chercher en Angleterre des plaques qui ne sont pas meilleures que celles qui sont fabriquées chez nous.

La plaque de verre servira de préférence dans l'atelier, mais en voyage son poids et sa fragilité devraient la faire mettre

de côté et lui faire préférer les pellicules transparentes.

Comme vous le verrez dans une conférence prochaine, la fabrication des pellicules sensibles est aujourd'hui complètement débarrassée des accidents qui se sont produits dans les commencements. La plus ancienne et la première comme rapidité, la pellicule Balagny répond aujourd'hui à tous les besoins, et sa rapidité est identiquement la même que celle des plaques bleues de Lumière (25 du sensitomètre); elle se manipule comme les glaces.

Son emploi entraîne seulement une petite modification, et il faut user avec elle de châssis spéciaux : le meilleur, et je crois qu'il faut dire le modèle parfait, pour cela, est le châssis simple à rideau de M. Balagny.

On peut aussi employer, mais pour l'atelier à cause de son poids, le châssis extenseur de MM. Graffe et Jougla, qui maintient la pellicule dans un état de tension telle que sa surface est absolument plane. Cette condition est indispensable lorsqu'il s'agit de reproductions agrandies et où la moindre variation de mise au point amènerait un manque de netteté.

A côté des pellicules Balagny, j'aurai aussi à citer celles de MM. Graffe et Jougla, qui ont été notablement perfectionnées dans ces derniers temps, et qui font bonne figure à côté de celles de M. Balagny.

Enfin, en campagne, il sera souvent commode d'employer non plus des pellicules coupées, et qui exigent un châssis pour chacune, mais bien des pellicules en longues bandes, permettant de faire 25, 50, 100 épreuves de suite. Pour cela, le châssis à rouleaux devient indispensable.

Cette idée française, car c'est à Paris que Relandin a établi le premier châssis à rouleaux pour papiers négatifs, nous est revenue d'Amérique, complètement transformée, améliorée. Et le succès de la compagnie Eastman est dû à l'usage qu'elle a su mettre à la mode des pellicules sensibles et des châssis à rouleaux.

A côté de l'appareil américain, je dois citer le châssis à rouleaux de M. Deneux, plus simple de fabrication et plus facile à manier. Enfin, M. Nadar nous fait espérer un modèle

encore plus perfectionné que ceux qui ont été faits jusqu'à présent.

Mais je suis bien obligé de dire que nos fàbricants français se sont montrés peu disposés jusqu'à ce jour à fabriquer des pellicules en bandes suffisamment longues; MM. Graffe et Jougla livrent des pellicules en rouleaux, et sont seuls à lutter contre l'excellente pellicule de la maison Eastman.

Et maintenant il ne me reste plus qu'à adresser tous mes remerciements à M. Laussedat, qui m'a fait l'honneur de m'appeler à prendre part à ces conférences sur la Photographie ; à MM. Le Chatelier, Marcel Deprez, Masson, Tresca, Campion, de la Valette, qui ont bien voulu m'aider de leurs conseils, et me faciliter l'organisation matérielle de cette conférence; à M. Molteni, dont l'habileté est connue de tous, et dont la complaisance est devenue proverbiale.

Enfin à vous tous, Mesdames et Messieurs, j'ai à adresser mes remerciements non seulement pour votre bienveillante attention, mais pour la sympathie qu'il m'a paru vous voir accorder à la cause que je suis venu plaider devant vous.



LES

PANORAMAS PHOTOGRAPHIQUES

ET LES APPAREILS PANORAMIQUES,

CONFÉRENCE DU 13 MARS 1892,

Par M. le Commandant MOESSARD,

Attaché à l'État-major de l'Armée,
Membre de la Société Française de Photographie.

SOMMAIRE.

Étude du panorama en général. — Différents moyens géométriques de le représenter. — Principaux appareils photographiques panoramiques. Principe de leur construction et de leur mode d'emploi. Détails sur les plus usuels. — Usage et mode d'emploi de l'appareil panoramique. Comparaison avec l'appareil ordinaire. — Applications diverses de l'appareil panoramique. Instantanées, vues multiples, Topographie, etc. — Projections panoramiques.

Du panorama en général.

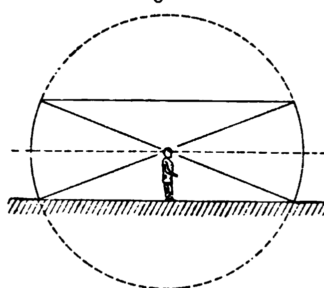
Le panorama, c'est à proprement parler l'ensemble des objets qu'un observateur aperçoit dans tous les sens, quand il fait un tour entier sur lui-même, sans se déplacer.

L'œil du spectateur étant supposé au centre d'une *sphère* de rayon quelconque (*fig.* 1), le panorama comprend tous les objets qui viennent se projeter sur cette sphère. Mais, étant donné d'une part, que, par suite de la conformation physiologique de l'homme, l'angle de hauteur maximum dans l'intérieur duquel il peut observer sans fatigue est relativement petit, et, d'autre part, que les objets situés à ses pieds présentent en

général peu d'intérêt, la partie utile de cette sphère se réduit, somme toute, à une zone assez étroite, terminée par des plans horizontaux et située de part et d'autre du plan horizontal passant par l'œil. Cette zone, assimilable à un *cylindre* à génératrices verticales, embrasse tout le panorama.

De cette infinité de panoramas, qui nous suivent et dont l'aspect varie sans cesse à chacun de nos pas, il en est qui

Fig. 1.



offrent un intérêt particulier et méritent d'attirer et de fixer l'attention.

Les uns, parce qu'ils embrassent un espace considérable dans tous les sens ou du moins dans l'intérieur d'un angle de large ouverture : le steppe, le désert, la mer.

D'autres, très étendus aussi en largeur et en profondeur, plaisent par la diversité et l'attrait particulier des détails dont ils se composent : tels les panoramas de montagnes, ou celui qu'on embrasse du haut de la tour Eiffel.

D'autres encore, de dimensions plus modestes, s'imposent par leur heureuse disposition et par l'effet artistique ou pittoresque qu'ils produisent : ainsi le cirque de Gavarnie, Naples, Alger, Marseille, ou encore, la place de la Concorde, la place de l'Opéra, la place Bellecour, le Forum, etc.

Enfin, une quatrième série, non la moins intéressante, mais dans laquelle la Photographie ne peut jouer qu'un rôle secondaire, comprend les panoramas dits *historiques*, qui relatent un fait, une bataille, une série d'épisodes simultanés, disposés avec art, de façon à émouvoir et à charmer le spectateur. Ici

la Photographie ne peut fournir que le décor, au peintre appartient la grosse besogne de faire vivre les personnages et de créer l'illusion.

Pour en finir de suite avec ce genre de travail, nous nous contenterons de rappeler que le sujet est peint sur une toile cylindrique, ayant une dizaine de mètres de rayon. Cette toile, accrochée contre un mur de même forme et tendue par des poids à sa partie inférieure, est éclairée par une lumière verticale, venant du sommet de l'édifice et que diffuse une sorte de couvercle conique, placé au-dessus de la plate-forme destinée aux spectateurs. Des premiers plans, formés d'objets réels, jetés sur le terrain, ménagent une transition aussi insensible que possible entre l'observateur et les objets peints. Enfin, pour compléter l'illusion et ménager les effets de lumière, le public pénètre dans l'édifice par un étroit couloir obscur; on lui montre en premier lieu quelques vues de détail peu éclairées, des effets de nuit par exemple, de telle sorte qu'en débouchant sur la plate-forme du panorama proprement dit, il est presque ébloui par l'éclat cependant très relatif du spectacle qu'il a sous les yeux.

Sans prétendre à saisir le fait historique, ce qui est d'autant plus malaisé qu'il est toujours difficile de prévoir d'avance l'importance que pourra acquérir plus tard un fait quelconque dont on est témoin et qu'il est absolument impossible de faire revivre un épisode du passé, la Photographie permet cependant de produire des panoramas se rattachant à ce genre; tels sont, par exemple, la revue du 14 juillet, la course du Grand prix, à Longchamp.

Mise en perspective d'un panorama.

La perspective donne les lois qui président à l'exécution d'un dessin destiné à produire l'illusion de la nature même. Supposant l'œil de l'observateur immobile, et menant par la pensée les rayons visuels qui relient en ligne droite cet œil à tous les détails de l'objet, on détermine l'intersection de ces rayons avec une surface quelconque. L'image ainsi obtenue

Fig. 2.

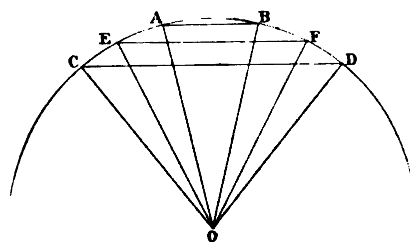
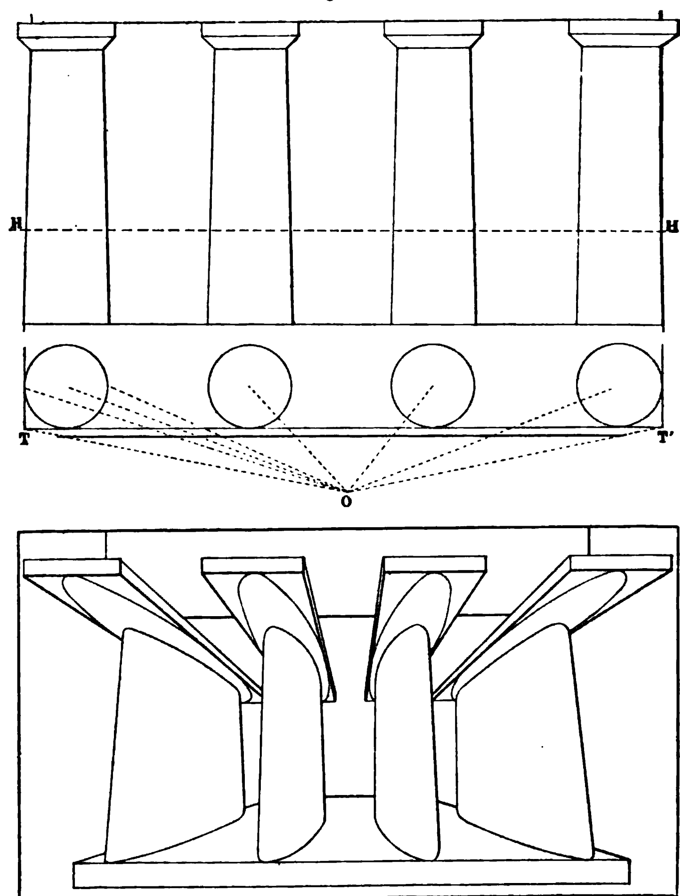


Fig. 3.

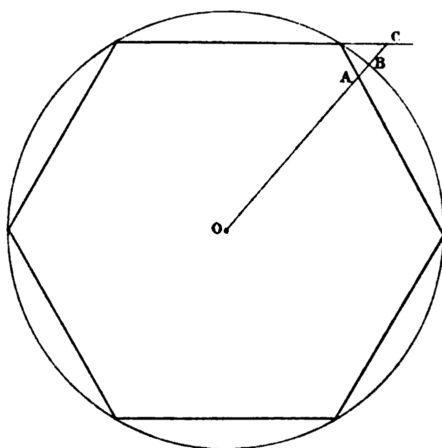


jouit de cette propriété, qu'en mettant l'œil en avant d'elle au point même pour lequel elle a été construite (*point de vue*), les rayons lumineux qu'elle envoie à cet œil sont relativement disposés comme le sont les rayons de la nature et l'apparence de l'image est identique à celle de la nature.

Perspective plane. — En général, les peintres se servent du plan comme surface perspective. La perspective plane convient en effet très bien, avec quelques légères corrections, toutes les fois que l'angle d'ouverture de la vue n'est pas trop considérable. On admet que la distance du point de vue au tableau ne doit jamais être inférieure à deux fois et demie ou trois fois la largeur du tableau, ce qui correspond à un angle de 19° à 22° : AOB (*fig.* 2). Si l'on dépasse cette limite, l'œil est obligé de se déplacer pour examiner les diverses parties du tableau, en même temps que la construction géométrique de la perspective amène des déformations d'autant plus choquantes, que l'on s'éloigne plus du point de vue (*fig.* 3).

Perspective polyédrique. — On prend plusieurs tableaux

Fig. 4.

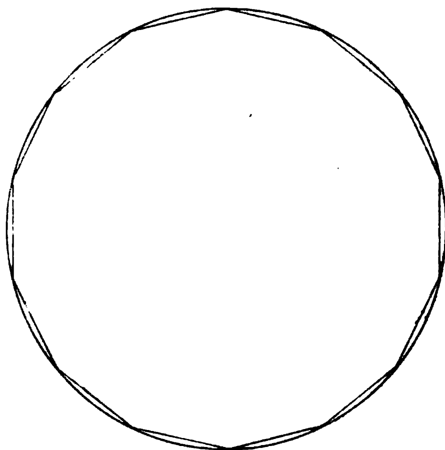


plans verticaux, également inclinés l'un sur l'autre, de façon à former les faces d'un polyèdre régulier à arêtes verticales

(*fig*. 4). Le point de vue, le même pour tous, est sur l'axe de figure de ce polyèdre.

Le raccord de ces vues est des plus difficiles à réaliser. En supposant que les opérations soient exécutées avec une rigueur géométrique, que les papiers qui portent l'image restent immuables de forme et de dimensions dans les mouillages et les collages nécessaires, on reste encore en présence de deux

Fig. 5.



difficultés : le raccord n'est possible que suivant une certaine ligne verticale pour chaque vue, c'est-à-dire, suivant l'arête même du polyèdre choisi ; les deux images de mêmes objets, obtenues en A sur l'une des perspectives, en C sur la voisine, sont en effet de dimensions différentes ; en second lieu, les lignes droites ou courbes se prolongeant d'une vue sur la voisine sont toujours brisées au point de suture, et la brisure est d'autant plus marquée que le polyèdre a moins de côtés; d'où l'obligation pour atténuer cet effet d'augmenter le nombre des épreuves tirées en chaque point (*fig*. 5).

Perspective cylindrique. — Le tableau est un cylindre à génératrices verticales, le point de vue est sur l'axe. C'est le mode de perspective le plus rationnel. La loi fondamentale de

la perspective, c'est en effet que les objets nous paraissent d'autant plus petits qu'ils sont plus éloignés. Cette loi conduit à la perspective sphérique, qui est bien celle que nous percevons sur la rétine. Mais la forme sphérique n'est pas facile à réaliser, et d'autre part nous avons vu que, dans les conditions ordinaires de la vision terrestre, la portion de sphère utilisable se confondait sensiblement avec un cylindre.

La perspective cylindrique ne produit, il est vrai, son effet que sous la condition que le tableau conserve la forme cylindrique, pour laquelle il a été établi. Nous verrons plus loin quel genre de déformations entraîne le développement du cylindre sur un plan.

Appareils panoramiques.

Perspective plane. — Théoriquement, on peut obtenir sur un plan presque le demi-panorama (*fig.* 3). En pratique, l'on n'arrive à un champ très étendu qu'en employant la chambre sans objectif, et en rapprochant suffisamment la plaque sensible du trou qui admet les rayons lumineux. Il est pourtant difficile de dépasser 120° à 130°, l'obliquité des rayons lumineux sur le trou ayant pour résultat de diminuer et de supprimer même toute impression, quand on s'écarte davantage du centre.

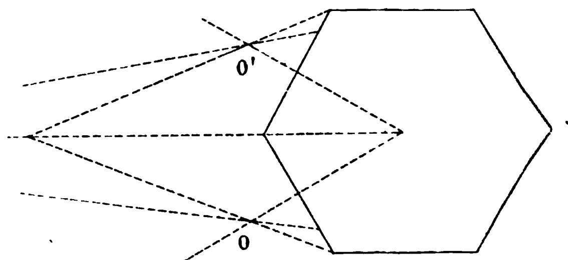
Si l'on emploie un objectif, l'angle d'ouverture de l'image nette est bien moindre encore. Les meilleurs objectifs dits panoramiques ne dépassent guère 70° : EF (*fig.* 2); quand ils vont jusqu'à 90° ou même 100° : CD (*fig.* 2), c'est aux dépens de la netteté et de la vérité.

Perspective polyédrique. — La perspective polyédrique présente le grand avantage de ne pas exiger d'appareil spécial, mais elle entraîne une grosse somme de travail, et beaucoup de soin pour les raccords. Il est indispensable que la rotation de l'appareil d'une vue à l'autre se fasse autour du centre optique de l'objectif, que la chambre soit toujours parfaitement verticale, que la distance focale ne varie pas, etc. M. Civiale a employé ce procédé pour ses belles opérations dans les

Alpes; il obtenait un panorama en quatorze vues (*fig.* 5), de $0^m,27$ sur $0^m,37$, avec $0^m,72$ de foyer, chaque épreuve recouvrant la voisine de $0^m,015$.

L'appareil de M. Ferrier (1866) se rattache à ce système : c'est une chambre noire ordinaire, dans laquelle on a remplacé le châssis habituel par un châssis plus long, contenant la glace destinée à recevoir le panorama. Ce châssis peut se déplacer

Fig. 6.



dans le sens longitudinal, de façon à amener telle portion de la glace au foyer de l'objectif. On opère par vues successives, une graduation permet de régler à chaque fois la position à donner à la chambre et au châssis.

Dans l'appareil Triboulet, fait pour être accroché en dessous d'un ballon et qui comporte six appareils embrassant chacun le sixième du tour d'horizon, le raccord n'est possible que pour les lointains, le point de vue O, O', variant d'un appareil au suivant (*fig.* 6).

Appareils spéciaux. — Aux appareils panoramiques se rattachent pour mémoire deux appareils qui ont été construits spécialement pour les applications topographiques de la Photographie.

La *planchette Chevalier* donne sur un plan, par portions successives, l'image anamorphosée de portions choisies du tour d'horizon.

Le *périgraphe instantané* du colonel du génie Mangin repose sur l'emploi d'une lentille torique, qui recueille les rayons lumineux venus de tous les points de l'horizon et les

renvoie sur un plan. L'image impressionne une plaque sensible et donne le tour d'horizon entier en une seule opération. Cette image, plus nette que celles de l'appareil Chevalier, est également une anamorphose de la nature; elle se prête aux mesures topographiques, mais elle présente un aspect bizarre et déconcertant.

Perspective cylindrique. — C'est la première qu'on ait songé à employer à la reproduction des panoramas : en effet, dès 1845, Arago présentait à l'Académie des Sciences un appareil panoramique, inventé par M. Martens l'année précédente. L'objectif tournait autour d'un axe vertical, l'image était reçue sur une plaque daguerrienne de forme cylindrique, que l'on mettait au point à l'aide de vis de pression. Il n'est pas expliqué comment on obtenait l'immobilité et, par suite, la netteté de l'image, d'autant plus difficile à réaliser qu'il fallait alors poser pendant un temps considérable et que, par conséquent, la fente verticale livrant passage aux rayons lumineux devait avoir des dimensions notables.

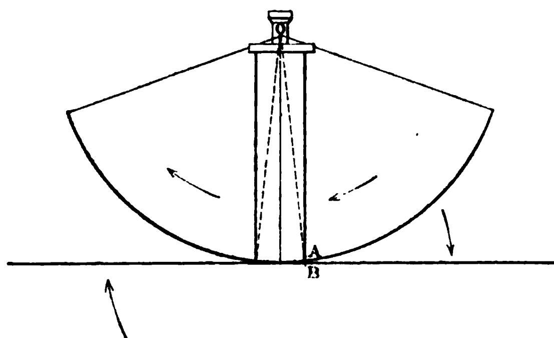
L'appareil Martens, perfectionné plus tard et transformé pour l'emploi des plaques au collodion (1856), fut le premier en date de ces appareils si nombreux dans lesquels l'image panoramique est reçue sur une surface plane.

Cette substitution s'imposait en raison du remplacement de la plaque flexible de Daguerre par la glace rigide recouverte de collodion. Les nombreux appareils basés sur l'emploi de la glace plane reposent tous sur le même principe et ne diffèrent entre eux que par des dispositifs de détail dans la description desquels il est inutile d'entrer.

La chambre, de forme analogue à celle des chambres noires ordinaires, tourne sur elle-même, de telle sorte que l'objectif soit successivement braqué sur les divers points de l'horizon (*fig.* 7). En même temps le châssis oblong, qui contient la glace, animé en sens inverse d'un mouvement de glissement latéral, amène successivement les diverses parties de la glace sensible en face d'une fente verticale étroite, liée à l'objectif et par laquelle passent les rayons lumineux utiles. Ces deux mouvements doivent être combinés de telle sorte que l'image

reste immobile sur la plaque sensible pendant tout le temps qu'elle l'impressionne. On se sert à cet effet soit d'engrenages, soit de poulies convenablement réglées. Il est du reste impossible de réaliser complètement l'immobilité de l'image, puisque cette image se formant sur la tangente au cercle, en B, et non sur le cercle lui-même, en A, la distance focale varie pendant toute la durée de l'impression. Plus longue au début et à la fin, elle passe par un minimum au milieu. Dans la pratique, on remédie à cet inconvénient en réduisant suffisamment la largeur de la fente verticale.

Fig. 7.

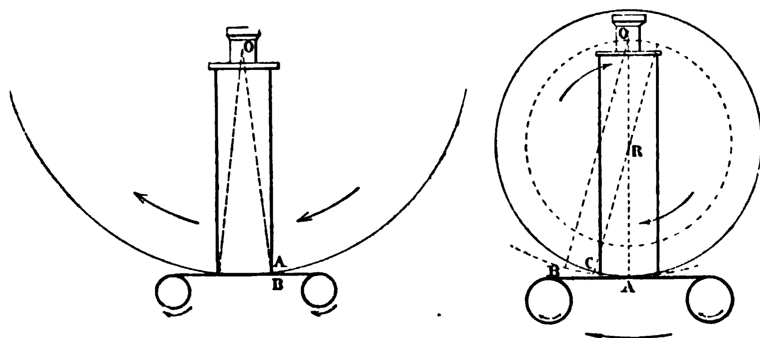


Tels sont les appareils Garella (1858), Johnson et Harrison (1865), Brandon, Koch, Busch et Benoist.

L'emploi de la glace présentait de graves inconvénients, à cause de son poids, de sa fragilité, de la difficulté de la préparer. Aussi avait-on cherché depuis longtemps à la remplacer par une surface sensible souple, papier ou toile. L'invention des pellicules au gélatinobromure a remis la question à l'ordre du jour, et M. Damoizeau a fait construire un appareil, dans lequel la pellicule, portée sur deux rouleaux solidaires, se transporte d'un rouleau sur l'autre en même temps que l'appareil tourne sur lui-même (*fig.* 8). Un mouvement d'horlogerie à vitesse variable actionne le tout. On règle les mouvements de manière que l'image paraisse immobile sur la pellicule. La mise au point se fait comme avec une chambre ordinaire. Le

tout est léger et d'un petit volume. On obtient en une seule opération le panorama complet, de quelque étendue qu'il soit. La longueur de pose dépend de la vitesse de rotation et de l'ouverture de la fente qui règle l'admission des rayons lumineux. Comme dans les appareils à plaques, on ne peut donner une

Fig. 8.



largeur trop grande à cette fente, sous peine de perdre de la netteté.

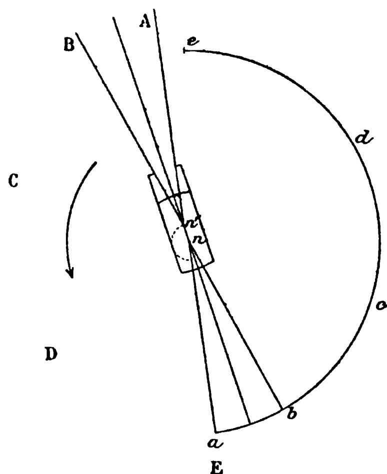
Ces appareils à double mouvement sont toujours délicats et sujets à se déranger.

Porro avait eu l'idée de se servir d'une lentille sphérique qui aurait fourni l'image du demi-panorama sur une surface sensiblement cylindrique. Cette surface était constituée par un demi-cylindre en verre, contre lequel il se proposait d'appliquer un papier sensible. Il ne paraît pas que l'expérience, très séduisante cependant, ait réussi ; plus tard, en 1862, Sutton reprenant la même idée, préconisait l'emploi de glaces courbes, de châssis négatifs et positifs et de cuvettes également courbes. Il employait une lentille compliquée, formée de verres optiques séparés par des couches de liquide, et qui embrassait un angle de 100°.

En 1883, le commandant Moëssard eut l'idée d'utiliser la propriété qu'ont les points nodaux d'un objectif quelconque d'être le point de concours des deux portions de chaque axe optique secondaire, allant l'une vers l'objet, l'autre vers l'image (*fig.* 9). Il est évident que, si l'on prend un objectif exempt de distor-

sion, et qu'on lui donne toutes les positions possibles en maintenant immobile son point nodal d'émergence, l'image restera également immobile, puisque sa position sur l'écran ne dépend que de ce point nodal et de la direction de l'axe se-

Fig. 9.

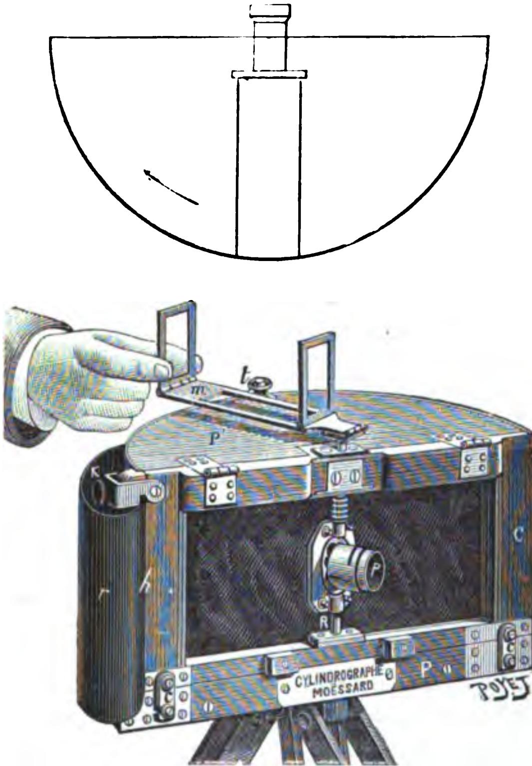


condaire reliant le point nodal d'incidence à l'objet, direction toujours invariable.

Cylindrographe. — Le cylindrographe, construit d'après le principe qui vient d'être énoncé, se compose d'un objectif, tournant dans un plan horizontal autour d'un axe de rotation vertical tellement choisi que le point nodal d'émergence reste immobile (*fig.* 10). L'image des objets sur lesquels cet objectif est successivement dirigé se forme sur un cylindre vertical, dont l'axe de figure coïncide avec l'axe de rotation et dont le rayon est égal à la distance focale principale de l'objectif employé. La paroi interne de ce cylindre est constituée par la pellicule sensible, maintenue dans un châssis flexible en celluloïd, qui prend à volonté la forme plane pour le transport, ou la forme cylindrique pour la pose (*fig.* 11). La chambre est formée de deux plateaux semi-circulaires égaux, en bois, servant l'un

de plancher, l'autre de plafond; un voile impénétrable à la lumière et assez lâche pour permettre l'évolution de l'objectif la ferme à l'avant. Le mouvement de rotation se donne à la main; une boîte légère, liée à l'objectif et mobile avec lui à

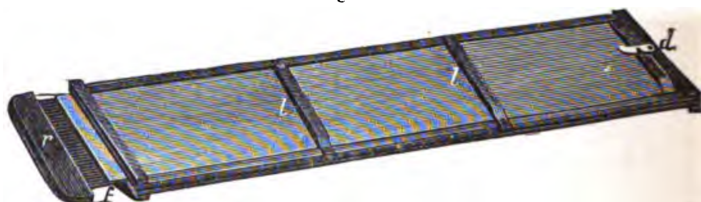
Fig. 10.



l'intérieur de la chambre, est munie d'une fenêtre verticale de largeur variable, qui limite l'admission des rayons lumineux sur la pellicule et permet de rendre la pose aussi courte qu'on le désire. Un jeu de diaphragmes antérieurs de forme variable, qu'on place dans le parasoleil de l'objectif, permet de faire varier la pose suivant les plans et la disposition de la vue à prendre.

Cet appareil se prête à toutes les combinaisons possibles. On peut, en utilisant toute la pellicule avoir d'un seul coup

Fig. 11.



le demi-panorama, à 10° près; on peut aussi, selon le cas, n'impressionner qu'une très minime portion de cette pellicule, et recueillir par exemple jusqu'à 42 portraits ou vues de détail différentes sur un même cliché (*fig.* 12); on peut faire varier

Fig. 12.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
														α
														β
														γ

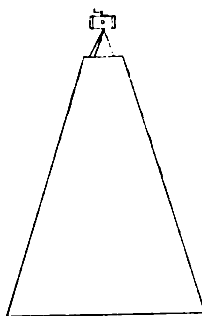
le temps de pose entre $\frac{1}{10000}$ de seconde et plusieurs heures, c'est une simple question de manœuvre; on peut, dans une même vue, attribuer des temps de pose différents à diverses parties du paysage, selon la qualité de son éclairement. L'emploi des pellicules a pour effet de diminuer beaucoup le poids et les difficultés de transport de l'appareil, en même temps qu'il débarrasse du halo.

Usage et mode d'emploi d'un appareil panoramique.

Recherche des panoramas dans la nature. — On rencontre très rarement dans la nature des panoramas entiers à point de vue unique, c'est-à-dire qu'on puisse photographier sans bouger de place. A moins, en effet, de supposer l'appareil per-

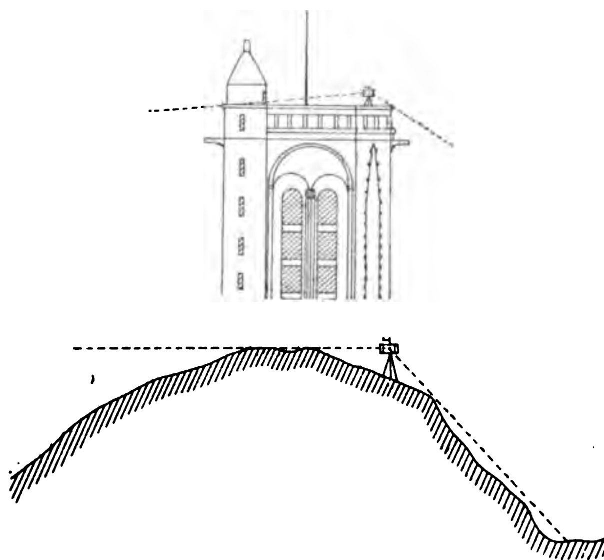
ché à la pointe d'un cône aigu et isolé (*fig.* 13), ou accroché en

Fig. 13.



dessous de la nacelle d'un ballon, on aura toujours auprès de

Fig. 14.



soi des objets, maison, arbre, rocher, etc., auxquels on s'adossera et qui masqueront la moitié de l'horizon (*fig.* 14). Même

sur un sommet, même sur le faîte d'un monument, le petit plateau, la plate-forme au bord desquels on doit se mettre en station, suffiront à faire perdre la possibilité de viser utilement en arrière, et là aussi il faudra déplacer l'instrument et faire deux ou plusieurs stations selon la forme de ce plateau.

Du reste, et nous reviendrons plus loin sur ce sujet, toute épreuve panoramique doit, pour restituer fidèlement l'impression de la nature, être disposée sous forme d'un cylindre, dont l'œil de l'observateur occupe le centre. Il est bien facile de donner la courbure et la forme voulue à la bande de carton ou de toile qui porte un demi-panorama; pour un panorama entier, c'est moins commode, puisqu'il faut alors fermer le cylindre et placer la tête à l'intérieur.

En conséquence, on se borne, dans la pratique, à la moitié ou au tiers de l'horizon.

Comment doit-on choisir sa vue. — En général, les panoramas qui ont le plus de succès auprès des touristes, par leur étendue et l'immensité du territoire qu'ils embrassent, ne sont pas ceux qui conviennent le mieux à la Photographie; les mouvements de terrain se lisent peu, les détails trop petits se confondent, les brumes dont l'atmosphère est chargée achèvent d'enlever à l'épreuve tout effet de contraste; il en résulte une image grise et monotone, sans valeur artistique. Il vaut mieux choisir son point de vue plus bas, dans une vallée, au bord du la mer, en se contentant d'élever son appareil de deux à trois mètres au-dessus du sol, de façon à dépasser la hauteur des détails et des personnages trop rapprochés; on cherche à se ménager un arrière-plan de montagnes assez élevées pour limiter nettement l'horizon, et cependant telles que leurs sommets les plus dominants soient contenus dans l'épreuve. Les premiers plans, arbres, navires, maisons ou personnages seront à une distance moyenne de 20 mètres; il sera bon que certains de ces objets occupent presque toute la hauteur de l'image, mais sans être coupés par les bords du cadre, ce qui produit toujours le plus déplorable effet. Il est bon d'avoir plusieurs sujets principaux divisant l'attention, pour inciter l'œil à se promener d'un bout à l'autre de l'image.

La saison et l'heure de l'opération seront choisies de façon à réaliser les meilleures conditions d'éclairement de la vue. En hiver, dans nos contrées, les ombres portées sont trop longues à cause du peu de hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. Si l'on est absolument forcé de poser en cette saison, on devra s'ingénier de manière à dissimuler cet effet, en cherchant à avoir en raccourci les ombres trop allongées sur le sol.

Il est du reste préférable en toutes saisons d'avoir un beau soleil, quitte à prendre toutes les précautions pour que ses rayons ne puissent pénétrer à l'intérieur de la chambre. On dispose ainsi d'une gamme de tons beaucoup plus étendue et de contrastes qui, même très violents dans la nature, ne s'atténuent toujours que trop après la transformation photographique.

L'heure de l'opération est bien loin d'être indifférente, surtout en Photographie panoramique, où, en raison de l'angle embrassé, on est plus exposé à diriger son objectif à un moment donné sur le Soleil même, ce qui, surtout si l'astre est bas, aurait pour résultat de produire un voile intense et général.

Enfin, on peut établir en principe qu'il vaut toujours mieux diminuer le temps de pose et faire un instantané; quel que soit le sujet, il offrira ainsi un aspect plus vivant, plus vrai, plus mouvementé, les eaux seront plus limpides et plus remuantes, les arbres, les personnages seront nets et pourtant animés, la lumière sera plus franche et l'impression d'ensemble bien supérieure.

Il n'est pas toujours commode de réaliser toutes ces conditions et l'on peut dire que, si la Photographie exige du goût naturel et de l'habileté technique, elle impose aussi à ses adeptes une grande dose de patience. On a vu des opérateurs rester deux ou trois mois dans une localité à l'affût d'une vue à prendre, obligés de se croiser les bras en attendant l'occasion favorable, revenant chaque jour à l'heure propice contempler leur point de vue, et chaque jour remettant l'opération au lendemain, pour cause de brouillard, de nuages, de premiers plans peu intéressants, etc. L'expérience seule peut apprendre ce qu'ont coûté d'efforts, d'ennuis, de déceptions de tout ordre, certaines de ces vues devant lesquelles le vulgaire passe presque indifférent.

Les dimensions en hauteur et en largeur de la vue panoramique se déterminent soit à l'aide du viseur fixé à la manivelle, soit à l'aide de l'écran en verre dépoli. On en déduit le décentrage à faire subir à l'objectif, la longueur du châssis à ouvrir et la disposition à donner à la chambre.

Le temps de pose résulte des conditions lumineuses de l'opération; l'instantané s'obtient par un seul mouvement de la manivelle; pour les vues posées, on fixe la durée totale de l'opération d'après la pose que l'on reconnaît nécessaire et la fraction de pose correspondant en un point à un passage de la manivelle; si cette fraction de pose est de $\frac{1}{20}$ de seconde, par exemple, et que la pose doive être d'une seconde, on devra faire aller vingt fois la manivelle d'un bout à l'autre de sa course. Certaines épreuves connues, la vue du palais des machines, la reproduction de panoramas peints, par exemple. ont demandé jusqu'à 700 à 800 courses. Si des parties de la vue demandent une pose plus longue, on leur donne, en limitant convenablement à un moment donné la marche de la manivelle, le nombre de courses supplémentaires que l'on juge nécessaire.

Comment doit être regardée une épreuve panoramique? — L'épreuve panoramique est formée sur un cylindre, donc, d'après les lois de la perspective, elle doit, pour produire son effet, être regardée sur un cylindre de même rayon, l'œil étant placé sur l'axe. Ce résultat est facile à réaliser avec les épreuves qui ont au moins $0^m,30$ de foyer, c'est-à-dire la distance de la vision distincte.

On peut cependant conserver aux photographies panoramiques la forme plane comme aux autres, sans grand inconvénient. Théoriquement, il est vrai, ce développement sur un plan a pour résultat de transformer en sinusoïdes toutes les lignes droites de la vue, autres que les verticales et la ligne d'horizon, mais, en pratique, ces effets sont à peine sensibles et ne deviennent choquants que si le photographe a commis l'imprudence de faire entrer dans sa vue de longues lignes droites très rapprochées du point de vue. Il est incontestable du reste que la vue panoramique, regardée à plat,

produit une impression d'étendue bien supérieure à celle de la vue plane, et cela pour trois raisons : 1° l'angle d'ouverture est très obtus, et peut aller jusqu'à 170°; 2° la loi fondamentale de la perspective, qui proportionne la grandeur des objets à leur rapprochement, est exactement observée dans le sens longitudinal : tous les objets sont donc rejetés à leur plan, tandis que, dans la perspective plane, les objets semblent parfois d'autant plus grands qu'ils sont plus éloignés (*fig.* 3); 3° enfin, l'extension de la paroi cylindrique sur le plan tangent a pour effet de faire fuir encore plus les ailes de l'image et de l'agrandir.

Les ciels sont toujours très réussis sur les épreuves panoramiques ; cela provient à la fois du diaphragme antérieur, auquel on donne la forme voulue, pour réduire la pose des ciels et des lointains, et aussi des pellicules elles-mêmes, qui, réduisant ou supprimant presque complètement le halo, permettent aux nuages, aux sommités des arbres et aux contours des lointains de se détacher nettement sur le ciel vivement éclairé. Cette suppression du halo est précieuse aussi pour les vues d'intérieur.

Applications diverses de l'appareil panoramique.

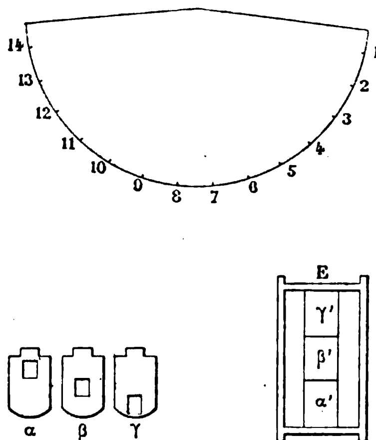
Vues instantanées. — La durée de la pose en un point est réglée par la durée du passage de la fente verticale de la boîte intérieure. Cette durée elle-même dépend de la largeur de la fente et de la vitesse imprimée par l'opérateur à la manivelle. Si la fente a $0^m,001$ de large et que sa vitesse soit de 1^m à la seconde, la pose sera de $\frac{1}{1000}$ de seconde. On peut aisément aller beaucoup plus loin, et réduire la pose à un $\frac{1}{10000}$ de seconde, en donnant $0^m,0005$ à la largeur et 5^m à la vitesse de la fente. Ce résultat est indépendant de l'objectif, qu'on peut choisir très lumineux et faire travailler à toute ouverture. Il faut, bien entendu, que la fente passe aussi près que possible de la surface de la pellicule, qu'elle la touche presque, afin de réduire au minimum les périodes d'ouverture et de fermeture,

qui deviendraient nulles si le contact existait entre la fente et la pellicule. C'est d'après ces idées que M. le commandant Fribourg a fait construire un petit modèle de cylindrographe, composé d'un objectif excessivement lumineux, forme Petzval, et d'une manivelle mise en mouvement par un ressort en caoutchouc. On peut ainsi tirer des instantanées par des temps très sombres, photographier des scènes de théâtre, au courant de l'action, sans recourir aux éclairs de magnésium, etc.

En tout état de cause, les épreuves instantanées prises au cylindrographe présentent de nombreux avantages : elles dispensent de l'emploi de tout obturateur, elles sont très lumineuses, enfin elles sont parfaitement nettes sur toute leur surface, puisqu'en tout point l'on n'utilise que les rayons centraux de l'objectif. On peut donc, avec l'appareil de $0^{m},30$ de foyer, obtenir de magnifiques épreuves instantanées des formats courants, nettes sur toute leur étendue.

Vues multiples. — Avec des diaphragmes antérieurs de

Fig. 15.



forme convenable et en donnant successivement à la manivelle des positions équidistantes (*fig.* 15), on peut n'impres-

sionner qu'une portion aussi petite que l'on veut de la pellicule sensible, et décomposer, par exemple, cette pellicule en une quarantaine de petits carrés contenant chacun une vue ou un portrait différent, faits le même jour ou à des intervalles quelconques (*fig.* 12). On peut aussi obtenir des portraits multiples d'un même personnage, dans un seul et même décor : il suffit pour cela de laisser la chambre en place et de déplacer à chaque fois le modèle, de telle sorte qu'il occupe le centre de la partie impressionnée que limite le diaphragme antérieur; chaque pose s'obtient comme avec une chambre ordinaire et les poses voisines se raccordent exactement sur la pénombre dégradée qui les borde à droite et à gauche. C'est en somme, on le voit, un retour au procédé par images successives dont il a été parlé plus haut, avec cette différence toutefois qu'ici l'image conserve une unité parfaite puisqu'elle résulte de la soudure d'images partielles formées sur un même cylindre, et faisant partie par conséquent du même panorama.

On peut varier ces applications de mille manières différentes, composer des paysages inédits en juxtaposant et raccordant par la pénombre deux ou plusieurs fragments de vues prises en des endroits variés; on peut, en substituant à la fente unique que porte la boîte intérieure une série de fentes parallèles, obtenir des images successives d'un même objet en mouvement, etc. On peut inversement, en réglant convenablement la marche de la manivelle, enregistrer la trajectoire visible complète d'un mobile, astre, ballon, projectile, etc.

Vues verticales ou inclinées. — On est en face d'un édifice élevé, et l'on manque du recul suffisant pour le photographier en son entier. On pourra toujours le prendre avec un appareil panoramique. Il suffira, en effet, de renverser l'instrument en rendant l'axe de rotation horizontal. C'est dans ce cas surtout qu'il sera nécessaire, pour bien retrouver sur l'épreuve le monument choisi, de conserver à la photographie la forme cylindrique qui lui a donné naissance. On aura alors l'impression exacte que produit le monument dans la nature, impression souvent bien différente de celle que traduisent les vues géométrales ou les perspectives construites dans l'hypo-

thèse d'un point de vue, dont l'accès est interdit en réalité au spectateur.

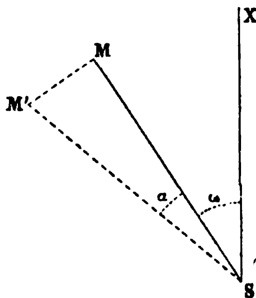
En ballon, au contraire, on dirigera l'appareil vers le bas, et l'on obtiendra une image curieuse donnant en projection horizontale les objets situés immédiatement en dessous du ballon et en perspective cylindrique une bande de terrain de plus en plus large à mesure qu'on s'éloigne de la verticale de la nacelle.

D'un point élevé, en inclinant convenablement l'axe, on obtiendra aussi des vues contenant une énorme étendue de terrain, et toujours faciles à lire et à interpréter, en dépit de l'aspect parfois bizarre et inaccoutumé qu'elles présentent. Dans ces vues, en effet, aucun des objets envisagé en particulier n'est déformé ; il se présente exactement sous le même aspect que dans la nature, puisqu'il est le produit d'une perspective cylindrique fidèle. L'ensemble lui-même perd son caractère d'étrangeté, dès qu'on lui rend la forme cylindrique convenable.

On peut encore reproduire ainsi l'intérieur complet d'un monument, d'une église, etc.

Application à la Topographie. — Les éléments que l'on

Fig. 16.

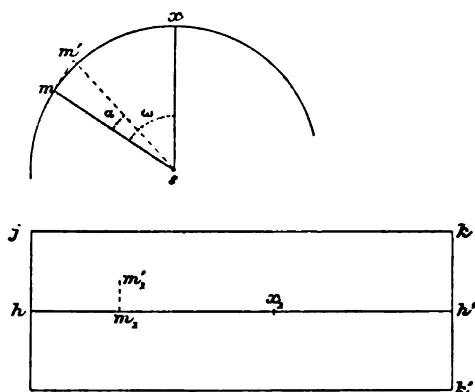


demande à tout appareil topographique mis en station en un point S (*fig.* 16), et qui suffisent à la détermination exacte des points visés, sont : l'*azimut*, ω angle que le plan vertical SM,

passant par le point visé M, fait avec un plan vertical origine SX; la *pente* $\frac{M'M}{MS}$ que la ligne de visée fait avec l'horizontale, et enfin la *distance* SM' du point visé ou sa projection horizontale SM.

Dans une image panoramique, l'*azimut* d'un point quelconque par rapport à un autre point est mesuré par l'arc de cylindre xm (*fig.* 17) qui sépare les génératrices passant par

Fig. 17.

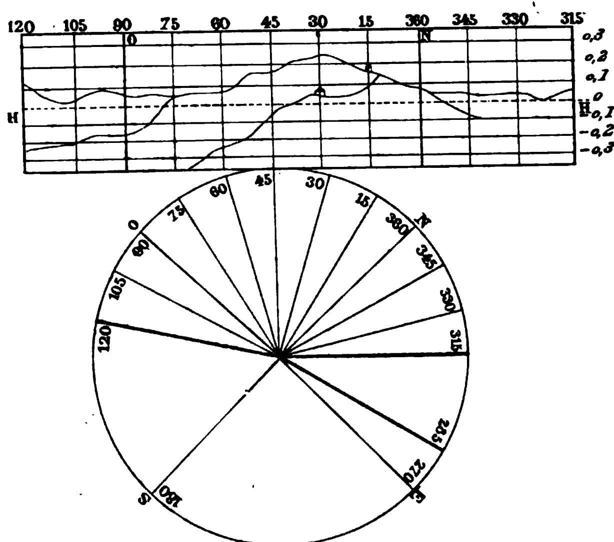


ces deux points, c'est-à-dire par la distance horizontale x_1m_1 qui sépare leurs verticales sur l'épreuve; la *pente* d'une visée faite du point de station sur un point de l'image est mesurée par la distance verticale $mm' = m_1 m'_1$ qui sépare le point de la ligne d'horizon; enfin, la *distance* SM' peut résulter de la mesure faite sur l'épreuve de la dimension apparente d'un objet, d'une mire de grandeur connue qui serait placée au point à déterminer.

Cette dernière mesure, qui se rattache aux problèmes courants de l'Iconométrie, présente seule quelques difficultés et quelques incertitudes quand le point est éloigné; du reste, il est rare qu'on s'en serve, la méthode qui consiste à déterminer un point par intersection, en le visant de deux stations, donnant plus de précision à moins de frais. La mesure de l'azimut

et celle de la pente se font avec grande exactitude, le plus aisément du monde, puisque les échelles qu'elles comportent

Fig. 18.



sont régulières et que leurs divisions égales correspondent à des angles égaux et à des pentes égales (*fig.* 18).

Le *cylindrographe topographique* (*fig.* 19) renferme deux demi-limbes gradués en grades ou en degrés, et disposés de telle sorte que leurs divisions, gravées en encoches sur la tranche du limbe, viennent se peindre en silhouettes sur la pellicule le long des grands côtés de l'épreuve; deux échelles verticales, à encoches également, graduées en parties aliquotes de leur distance au point nodal, profilent leur silhouette sur les petits côtés de l'image, et donnent les pentes. Quatre index mobiles portant en silhouette les lettres N, E, S et O, se placent sur le limbe inférieur (*fig.* 20), et donnent sur chaque image deux des points cardinaux. Deux autres index, le long des échelles verticales, marquent la ligne d'horizon. L'appareil est muni de deux niveaux à angle droit permettant de

Fig. 19.

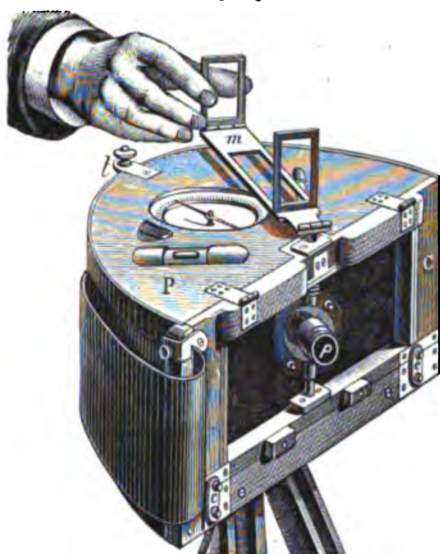
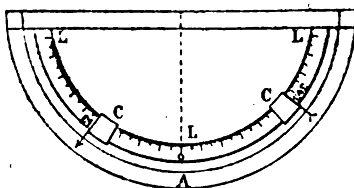
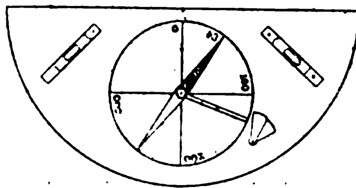




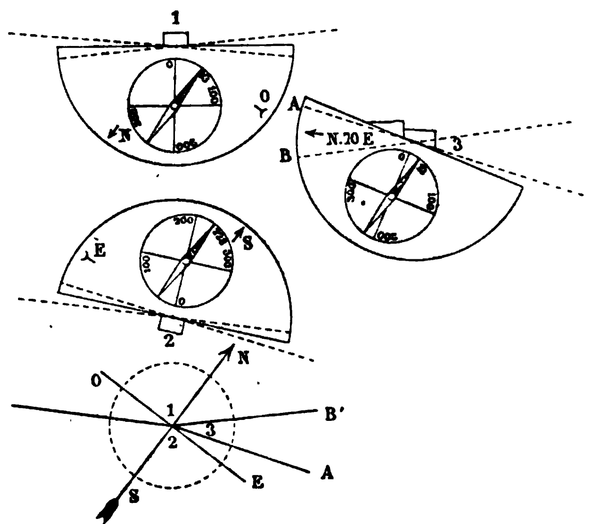
Fig. 20.





le mettre exactement de niveau et d'une boussole, à la pointe bleue de laquelle on lit la graduation quand l'appareil est en station (*fig.* 21). C'est à cette même graduation ou à une autre, différant de 90°, de 180° ou de 270°, de 100G, de 200G

Fig. 21.



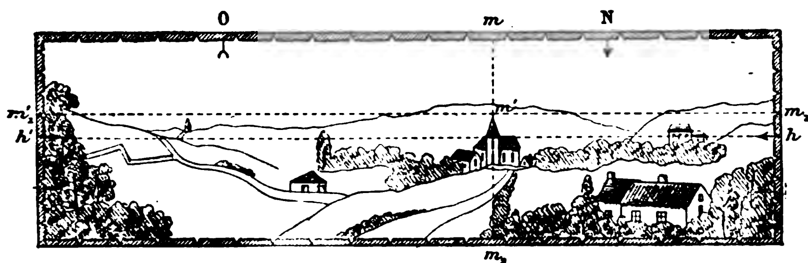
ou de 300G, qu'on place les deux index intérieurs des points cardinaux.

La *fig.* 21 montre la disposition relative de l'appareil, de la boussole et des index, dans les trois poses, deux entières et une fractionnaire, qui forment le tour d'horizon complet.

Par ces moyens, on évite les erreurs de mesures qu'entraînent les changements de dimensions des clichés ou des positifs, par suite des lavages, collages, manipulations diverses; on évite de plus la nécessité de raccorder les épreuves voisines pour passer de l'une à l'autre. Chaque épreuve positive vit de sa vie propre, elle a son orientation, ses échelles, dont les dimensions ont varié comme les siennes propres (*fig.* 22). Pour mettre en place la portion de tour d'horizon qu'elle représente, il suffit de connaître le point de station. Quant à l'ensemble de

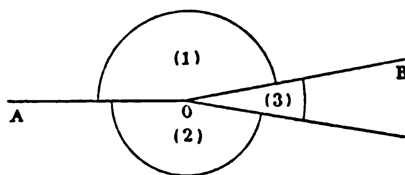
la méthode topographique, il est inutile d'en reparler ici, cette méthode est toujours la même, quel que soit l'instrument employé. La substitution de l'appareil panoramique aux appareils

Fig. 22.



ordinaires n'a pour effet que de réduire considérablement le nombre des opérations photographiques puisqu'une seule

Fig. 23.



épreuve suffira en général là où il fallait de cinq à six clichés plans, et de simplifier les opérations de mesure et la mise en place des tours d'horizon ou des portions de tour d'horizon (*fig.* 23).

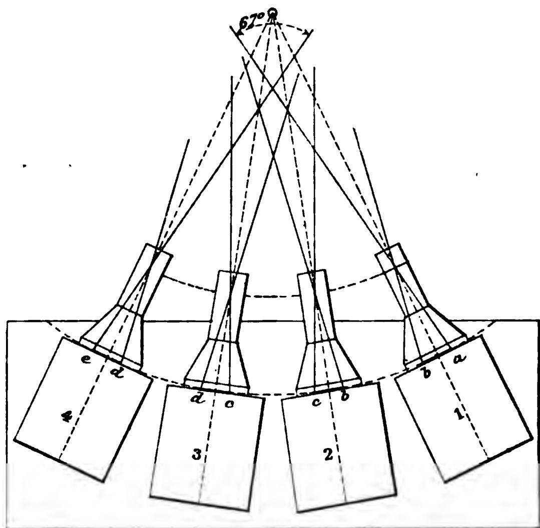
Projections panoramiques.

Nous avons vu que les épreuves panoramiques ne restituaient fidèlement l'aspect de la nature qu'à la condition d'être enroulées sur un cylindre ayant même rayon que l'appareil et d'être regardées d'un point situé sur l'axe de ce cylindre. Il en est de même des épreuves de projection, qui doivent être

enroulées sur un cylindre, de rayon amplifié dans le même rapport que les photographies mêmes.

Pour projeter une épreuve panoramique, on commence par tirer du négatif deux épreuves réduites identiques, de hauteur égale à celle des épreuves à projection, soit $0^m,07$. On découpe ces épreuves en quatre fragments ayant chacun $0^m,07$ d'image utile, en ayant soin de prendre ces fragments alternativement

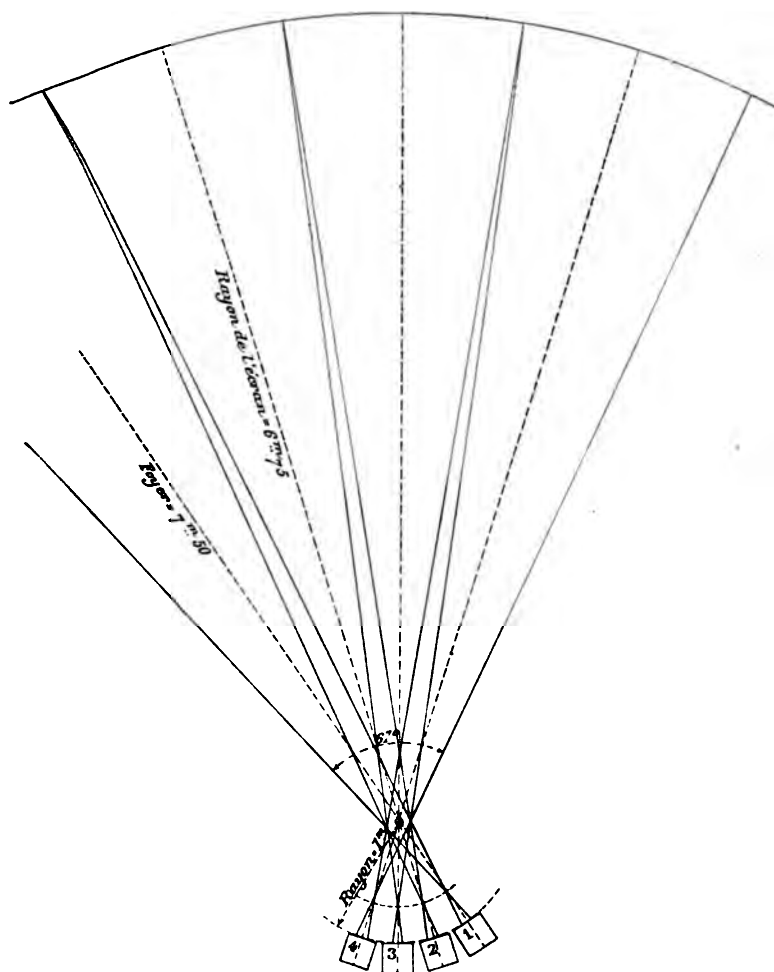
Fig. 24.



sur l'un et l'autre positif, de telle sorte que deux fragments voisins présentent une partie commune qui servira au raccord. Ces quatre fragments sont mis dans quatre lanternes de projection à objectifs égaux et éclairées à la lumière oxhydrique, pour mieux égaliser les clartés (*fig.* 24). De petits écrans opaques, placés entre le chalumeau et le condensateur, permettent de limiter la vue partielle par deux pénombres dégradées, qui se marieront avec les pénombres correspondantes des vues voisines, de manière à effacer toute trace de soudure. Les quatre appareils sont montés sur une table spéciale, munis de vis calantes, et réglés de manière à croiser leurs feux et à former

leurs images à côté l'une de l'autre sur l'écran. Cet écran est formé d'une bande de papier ou de calicot tendue sur un

Fig. 25.



cylindre concave, monté sur le même axe que les lanternes.

L'introduction des châssis porte-épreuves se fait par le haut, le réglage s'obtient à l'aide des écrans opaques qu'on déplace

dans un sens ou dans l'autre jusqu'à faire disparaître les traces du raccord.

Avec des objectifs à projection de $0^m,25$ de foyer, on produit sur un écran de 7^m de rayon des images de $8^m,50$ de long sur $2^m,10$ de haut, représentant la moitié environ du panorama complet (*fig.* 25). Les rayons allant aux deux extrémités de la vue font entre eux un angle de 67° seulement, au lieu de l'angle de 170° que font leurs correspondants dans la nature. Ce dispositif ne réalise donc pas exactement la conception théorique de la projection panoramique, il s'impose par la nécessité de montrer la vue à un nombreux auditoire, qu'on ne peut supposer concentré tout entier au centre du cylindre.

Il est permis d'espérer qu'on fera mieux dans l'avenir et que le temps viendra où l'on pourra projeter des panoramas complets dans des salles spéciales, analogues à celles qu'emploient les panoramas historiques; et le problème sera tout à fait résolu quand, à la vérité du rendu que donne la Photographie, on pourra joindre la magie des couleurs, c'est-à-dire quand la belle découverte de M. Lippmann aura produit tous ses fruits.



LES EXPÉRIENCES DE M. EDMOND BECQUEREL

SUR LES

ACTIONS CHIMIQUES DE LA LUMIÈRE

ET L'HÉLIOCHROMIE.

CONFÉRENCE DU 20 MARS 1892,

Par M. HENRI BECQUEREL,
Membre de l'Institut.

MESDAMES, MESSIEURS,

Les phénomènes dont je me propose de vous entretenir ont été découverts par mon père aux premiers temps de la Photographie, vers 1840, à une époque où l'on connaissait seulement les admirables procédés de Daguerre. Ces expériences fort anciennes pour nous n'ont pas seulement un intérêt historique; elles dévoilent des faits remarquables, des lois fondamentales qui nous guident sans cesse vers de nouveaux progrès.

Vous savez tous que l'action de la lumière provoque, dans un grand nombre de corps, des combinaisons ou des décompositions chimiques. Les sels d'argent, pour ne citer que les réactions les plus usuelles, le chlorure, le bromure, l'iodure d'argent exposés à la lumière perdent une partie et jusqu'à la totalité de leur métalloïde, et les dépôts métalliques aux endroits frappés par la lumière ont permis de fixer les contours des images de la chambre noire. Certains corps s'oxydent à la lumière, d'autres se désoxydent. Les matières colorantes

organiques, en général, se brûlent et se décolorent à la lumière et dans l'air ou l'oxygène; elles se conservent dans le vide. Les sels des métaux tendent au contraire à se décomposer, surtout s'ils sont en présence de matières organiques prêtes à s'oxyder à leurs dépens sous l'influence lumineuse. Ainsi l'iodure d'argent cristallisé pur est inaltérable à la lumière; il s'altère au contraire très rapidement lorsqu'il est en présence du papier, du collodion, de la gélatine ou même sur une plaque daguerrienne.

Dès l'origine de ces études, on a recherché si les rayons de diverses couleurs agissaient de la même manière sur les diverses substances altérables; cette étude fit l'objet d'un des premiers travaux de mon père. Tout le monde sait comment Newton, en faisant traverser un prisme réfringent par un faisceau de lumière solaire, a décomposé celui-ci en une infinité de faisceaux diversement colorés. Le spectre projeté sur le tableau reproduit cette expérience dans laquelle la lumière électrique a été substituée au soleil.

Si l'on fait tomber ce spectre sur une plaque photographique, il ne s'y imprime pas tel que nous le voyons; si la plaque contient du chlorure, de l'iodure et du bromure d'argent, elle noircit dans la région bleue du spectre, et au delà du violet, mais nullement dans la région la plus lumineuse du spectre. C'est qu'en effet nous ne voyons qu'une partie des rayons dispersés par le prisme; en avant des rayons rouges, il existe des rayons invisibles qui se manifestent en élevant la température des corps qu'ils frappent, et au delà du violet, dans l'ultra-violet, des radiations invisibles produisent des actions chimiques énergiques, et des phénomènes de phosphorescence.

Une expérience élégamment disposée par M. Peignot, préparateur du cours de Physique au Conservatoire des Arts et Métiers, va vous permettre de voir sur le tableau un spectre projeté sur une plaque au chlorure d'argent; la plaque se développera sous vos yeux et le dépôt d'argent se fera dans les régions violette et ultra-violette.

Avant 1840 on avait émis l'idée qu'il pouvait exister trois catégories distinctes de radiations; les unes calorifiques, les autres

lumineuses et les dernières chimiques. Mon père, le premier, montra que les rayons visibles et invisibles ont une origine commune et que l'organe révélateur ou la substance impressionnable limite seule l'étendue des radiations observées. En photographiant le spectre solaire, il reconnut, dans la région bleue, les mêmes bandes que l'œil permet d'apercevoir, et il découvrit en outre, dans l'ultra-violet, des raies dont l'étude constitue aujourd'hui toute une science, l'Analyse spectrale. Je mets ici sous vos yeux plusieurs photographies des raies du spectre solaire ultra-violet.

Si l'on fait tomber un spectre solaire sur d'autres substances que les sels d'argent, celles-ci s'altèrent dans des régions du spectre dont les positions et l'étendue varient d'une substance à l'autre. Les tableaux qui sont mis sous vos yeux résument quelques expériences de mon père sur les sels de cuivre, les sels d'argent, le chlorure d'or, le bichromate de potasse (*fig.* 1).

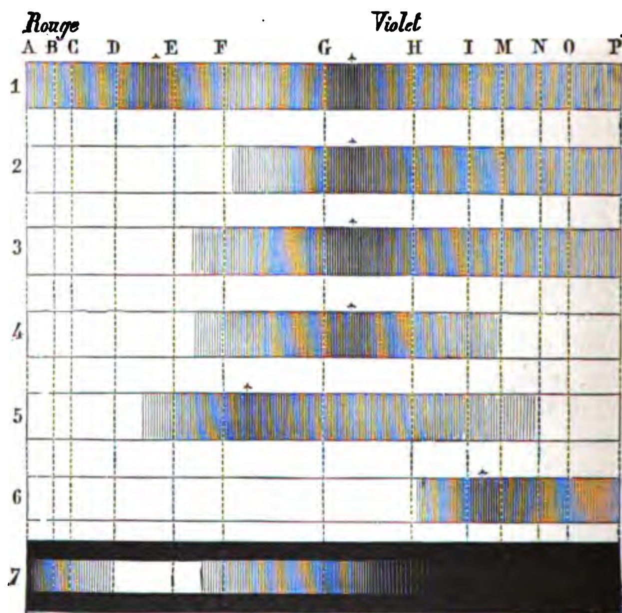
Comme les rayons doivent être absorbés pour être actifs, le tableau figure les spectres d'absorption des substances étudiées. Les sels d'argent, exclusivement employés en Photographie, ne sont altérés que par les rayons bleus, violets ou ultra-violets; pour pouvoir photographier un objet, il faudra donc que celui-ci soit éclairé avec des rayons bleus ou ultra-violets, et un objet jaune ou rouge devra venir en Photographie comme s'il était noir. Comme vous le verrez plus loin, on a remédié à cet inconvénient par l'emploi de plaques convenables dites isochromatiques.

J'appelle de suite votre attention sur l'effet obtenu avec la résine de gaïac. Un papier enduit d'une dissolution alcoolique de gaïac devient bleu-vert dans l'ultra-violet du spectre lorsque le papier est en présence de l'air ou de l'oxygène; la matière s'oxyde. Au contraire, si l'on bleuit d'avance le papier par l'action du chlore et si l'on projette le spectre, les rayons lumineux qui tout à l'heure étaient inactifs pour provoquer la coloration, décolorent le papier bleui. On aurait donc un moyen de photographier le spectre depuis le rouge jusqu'au violet, ainsi que les objets colorés en rouge, jaune et vert, mais le procédé manque de sensibilité.

Mon père a découvert en 1840 un autre procédé qui con-

duit à ce même résultat de la photographie des radiations les plus lumineuses du spectre.

Fig. 1.



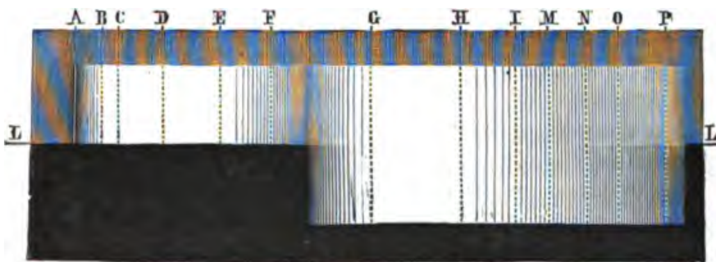
N° 1. Plaque d'argent iodurée (couche jaune d'or) insolée pendant quelques instants.
N° 2. Papier au collodion enduit d'iodure ou de chlorure d'argent avec excès d'azotate d'argent, non insolé, surface sèche.
N° 3. Papier au collodion enduit de bromure d'argent avec excès d'azotate d'argent, non insolé, id.
N° 4. Papier enduit de chlorure d'or neutre, id.
N° 5. Papier enduit de bichromate de potasse, id.
N° 6. Papier enduit d'une dissolution de gaïac dans l'alcool, id.
N° 7. Papier enduit d'une dissolution de gaïac, préalablement coloré en bleu par un lavage dans l'eau chlorée, id.

Si l'on prépare une plaque d'argent, par le procédé de Daguerre, avec l'iodure d'argent, le spectre se photographie depuis le bleu jusque dans l'ultra-violet; mais si l'on vient à exposer préalablement la plaque à la lumière diffuse pendant un temps très court avant de l'impressionner par le spectre, la matière se comporte tout autrement: non seulement le spectre s'imprime dans le bleu et l'utra-violet, mais il se fait une autre

impression depuis l'extrême rouge jusqu'au bleu. L'expérience peut être faite d'une manière différentielle sur une même plaque dont la moitié seulement a été insolée, et en projetant un spectre un peu large de manière que la ligne de séparation des deux régions de la plaque le coupe à moitié, dans sa longueur, la prolongation due à la partie visible du spectre apparaît de la manière la plus frappante, comme le montre l'épreuve qui est mise sous vos yeux (*fig.* 2).

Mon père avait appelé cet effet un effet *continuateur*, parce

Fig. 2.



que l'action des rayons jaunes et rouges semble continuer l'action commencée par les rayons violets.

Cette action se produit sur les plaques d'argent couvertes d'iodure et de chlorure d'argent, mais ne s'obtient pas avec le bromure dont une trace suffit pour empêcher le phénomène. On l'observe aussi sur des papiers, ou des clichés au collodion ou à la gélatine, et il se produit alors avec le chlorure, le bromure et l'iodure. On a donc ainsi le moyen d'avoir une plaque isochromatique, c'est-à-dire sur laquelle les diverses couleurs s'impriment également bien, mais il se produit un léger voile.

Une application des plus curieuses de ces phénomènes de continuation, a été de les faire servir à révéler les images latentes sur les plaques daguerriennes, sans l'intervention du mercure. On sait que l'idée géniale de Daguerre a été de penser qu'après une impression lumineuse trop courte pour laisser aucune trace sur la plaque, l'image existait cependant

à l'état latent, et qu'on pouvait la faire apparaître par une manipulation ultérieure. L'action des vapeurs de mercure avait permis d'obtenir ce résultat.

Mon père a montré qu'on peut faire apparaître l'image latente en exposant simplement sous un verre rouge à la lumière diffuse la plaque impressionnée; les rayons qui tombent sur la plaque *continuent* l'action de la lumière aux endroits seuls qui ont été impressionnés à la chambre noire, comme si la pose était plus longue, et ils font apparaître l'image. Pour la fixer, il suffit de laver la plaque à l'hyposulfite de soude qui enlève l'iodure inaltéré. Voici quelques exemples d'épreuves ainsi obtenues : les images apparaissent avec leurs demi-teintes, ce qui montre une sorte de proportionnalité entre l'effet continuateur et l'intensité de la lumière qui a impressionné la plaque.

Les rayons rouges et jaunes ont donc la propriété, soit de continuer l'action commencée par les rayons actifs, soit de décomposer la matière formée sous l'action de la lumière, et, dans ce cas, la plaque insolée se comporte comme si elle était recouverte d'une nouvelle matière sensible pour les rayons jaunes et rouges.

Il se produit en même temps une action remarquable observée par divers savants; dans l'extrême rouge et dans l'infrarouge, lorsque la plaque a été impressionnée à la lumière diffuse, il y a une région où la vapeur de mercure ne se fixe pas. Certains observateurs avaient expliqué ce fait en admettant un effet protecteur de la part de ces rayons: c'est plutôt un effet inverse qui s'est produit, et de l'iodure s'est reformé, de sorte que la plaque semble ne pas avoir été altérée dans cette région. On verra plus loin comment les effets électriques obtenus sous l'influence de la lumière conduisent à cette explication du phénomène.

On a remarqué que certaines plaques insensibles aux rayons rouges et jaunes, quand la pose est instantanée, deviennent sensibles à ces rayons quand la pose se prolonge ou quand l'intensité est considérable. Dans ce cas il peut se produire deux effets; d'abord la substance peut n'être que faiblement sensible à ces rayons et leur action ne devient perceptible

qu'après une pose très longue ou sous l'action de radiations très intenses. En outre, l'action de la lumière diffusée à l'intérieur de la chambre noire peut agir peu à peu sur la plaque et la mettre en état de manifester des phénomènes de *continuation*.

J'ai dit plus haut qu'on avait été conduit à rechercher des plaques isochromatiques, c'est-à-dire sur lesquelles les objets de diverses couleurs viennent également bien. On est arrivé à ce résultat en mélangeant aux sels d'argent des substances organiques colorantes qui absorbent les rayons rouges, jaunes et verts.

Les premières observations de ce genre sont dues à M. Vogel; ce savant a montré comment des matières colorantes diverses incorporées aux couches sensibles prolongent plus ou moins l'étendue de la région spectrale active. Mon père a fait avec la chlorophylle une expérience particulièrement intéressante. Une dissolution de chlorophylle interposée sur le trajet d'un faisceau de rayons lumineux produit des phénomènes d'absorption remarquables; elle arrête certains rayons à l'exclusion d'autres voisins de ceux-ci. Son spectre d'absorption se compose de bandes caractéristiques dont le groupe le plus important est dans le rouge extrême; voici du reste ce spectre d'absorption projeté sur le tableau. Or, si l'on teint, avec une dissolution alcoolique de chlorophylle, une plaque de collodion à l'iodure d'argent, et que l'on photographie sur cette plaque un spectre solaire, on voit depuis le rouge jusqu'au violet des maxima d'action disposés par bandes qui reproduisent le spectre d'absorption de la substance. L'épreuve mise sous vos yeux a été obtenue de cette manière.

Les rayons absorbés par la substance sont donc dans ces régions les seuls actifs sur le sel d'argent; tout porte à penser que ces rayons absorbés par la chlorophylle provoquent l'altération de celle-ci, et que cette tendance à l'altération provoque à son tour la décomposition du sel d'argent.

Ce mécanisme du phénomène serait général avec les diverses substances mélangées aux sels d'argent, et si parfois les bandes d'activité sur les plaques isochromatiques sont déplacées par rapport aux bandes des spectres d'absorption des

substances prises isolément, c'est que la combinaison avec le sel d'argent aura provoqué des réductions chimiques qui se traduisent, comme je l'ai montré, par des déplacements des bandes d'absorption du spectre primitif.

On va mettre sous vos yeux quelques exemples de photographies faites avec des plaques isochromatiques, soit avec la chlorophylle, soit avec d'autres matières.

J'arrive maintenant à vous parler d'expériences des plus curieuses faites par mon père de 1838 à 1848 et permettant de reproduire les objets et le spectre solaire avec ses couleurs. Le mécanisme du phénomène est encore inexpliqué et je me hâte de vous dire qu'il est tout différent du phénomène qui donne lieu à la belle expérience de M. Lippmann.

Le chlorure d'argent blanc qui noircit à la lumière commence d'abord par devenir violet; à cet état il a perdu une partie de son chlore et constitue un *sous-chlorure*.

Si l'on étend cette substance et si l'on projette un spectre lumineux, la matière devient rouge dans les rayons rouges, bleue dans les rayons bleus. Mon père a longtemps cherché à tirer parti de cette curieuse propriété pour photographier directement les objets avec leurs couleurs, et il est arrivé à des résultats tout à fait remarquables par la beauté et par l'éclat des épreuves. Malheureusement on ne peut les fixer; elles restent inaltérées à l'obscurité, mais elles s'altèrent à la lumière; très lentement à la lumière diffuse, mais rapidement au soleil.

Si on plonge l'épreuve dans une dissolution d'hyposulfite de soude, toute la matière, impressionnée ou non, s'y dissout.

Après de nombreux essais, mon père s'est arrêté aux deux procédés suivants, pour préparer une couche sensible de sous-chlorure d'argent violet :

1° On prend une plaque d'argent, ou de plaqué, sur laquelle il ne doit pas y avoir de traces de mercure; pour atteindre ce but, il convient de la chauffer au rouge sombre. On prépare cette plaque comme si l'on voulait faire une épreuve daguerrienne, en la décapant et lui donnant le degré de poli et de bruni convenable, puis on la plonge quelques instants dans un bain formé de six volumes d'eau et d'un volume d'un mélange par parties égales d'une solution de bichlorure de cuivre

et d'une solution de sel marin à saturation. La plaque se couvre d'une couche de sous-chlorure d'argent violet; on retire la plaque quand le dépôt paraît suffisant.

Le bichlorure se prépare en mettant en excès dans un verre avec une certaine quantité d'eau du sulfate de cuivre et du chlorure de sodium.

2° Le procédé suivant est meilleur et permet de donner à la couche sensible une épaisseur que l'on peut régler à volonté. On fait une dissolution de 8 parties d'eau et de 1 partie d'acide chlorhydrique et l'on y plonge la lame d'argent, préparée comme il a été dit plus haut, en la faisant communiquer avec le pôle positif d'une pile. Un fil de cuivre ou de platine que l'on promène devant la plaque forme l'autre électrode. On obtient ainsi par l'électrolyse de l'acide chlorhydrique un dépôt de chlore qui forme du sous-chlorure d'argent; on peut juger de l'épaisseur du dépôt à la teinte de la lame, mais il est préférable d'intercaler un voltamètre dans le circuit, et de connaître ainsi par le volume d'hydrogène dégagé quel est le volume de chlore déposé sur la plaque. Pour avoir de belles épreuves, il convient de déposer ainsi $6^{cc},5$ à 7^{cc} par décimètre carré de surface.

La plaque est séchée à la lampe; on enlève avec du coton un léger voile blanchâtre qui recouvre la lame et on la polit avec un polissoir en velours. Elle offre alors une teinte marron ou bois foncé. Si l'on projette un spectre sur cette plaque, les couleurs bleues, vertes, jaunes, rouges, viennent très bien, mais le rouge extrême et l'infra-rouge deviennent très foncés, violet noir.

Si l'on recuit la lame à 100°, elle devient rose, et présente d'autres propriétés. Les teintes colorées viennent en clair, mais le jaune et le vert apparaissent moins bien. Dans les images, les blancs viennent en blanc. Pour obtenir des plaques jouissant de cette dernière propriété et donnant de bonnes images jaunes et vertes, il faut recuire à très basse température, à 30° ou 35°, pendant plusieurs jours et même plusieurs semaines.

En exposant simplement la lame sous un verre rouge, les rayons infra-rouges lui donnent une teinte violette et la matière

donne d'excellentes impressions en clair de toutes les couleurs; les blancs viennent en blanc.

Voici quelques épreuves obtenues sur des lames ayant subi les diverses préparations.

Les épreuves des spectres viennent très bien, parce que les rayons des diverses couleurs sont séparés; mais la simplicité d'action n'est plus la même pour les objets colorés et les teintes composées. Celles-ci viennent avec leur nuance s'il n'y a pas en outre des rayons invisibles qui agissent sur la matière; ce sont surtout les rayons infra-rouges dont il faut éliminer l'effet ainsi que l'action des rayons ultra-violets. La présence de ces rayons invisibles fait que les reproductions de vitraux ne sont pas toujours bonnes; il faudrait arrêter les rayons infra-rouges.

Enfin, je terminerai cet exposé par le résumé d'un des premiers travaux de mon père datant de 1839 et 1840; il avait alors vingt ans.

Nous venons de voir que la lumière produit des décompositions chimiques; or, toute décomposition chimique est accompagnée d'une manifestation électrique, du dégagement d'un courant; mon père eut l'idée d'essayer de mettre en évidence ce courant. Il disposa d'abord l'un au-dessus de l'autre deux liquides capables de réagir l'un sur l'autre à la lumière, deux lames de platine plongeant dans les liquides et étant en relation avec un galvanomètre. Lorsqu'on éclairait l'appareil, une déviation se produisait. Mon père observa bientôt que l'action principale était produite sur les électrodes, et il disposa autrement l'expérience. Deux lames de platine ou d'or, préalablement chauffées, étaient mises en relation avec un galvanomètre, puis plongées dans une solution unique, et maintenues à l'obscurité. Si la solution était alcaline, en éclairant l'une des lames, celle-ci prenait l'électricité *négative;* au contraire, dans une solution acide, la lame éclairée devenait *positive*. Les rayons les plus actifs pour produire ces phénomènes sont les rayons violets et ultra-violets. Peut-être, dans ce cas, l'effet est-il dû à des matières organiques qui adhèrent aux lames, car un décapage très complet annule presque les effets obtenus.

Si les lames sont recouvertes de composés altérables à la

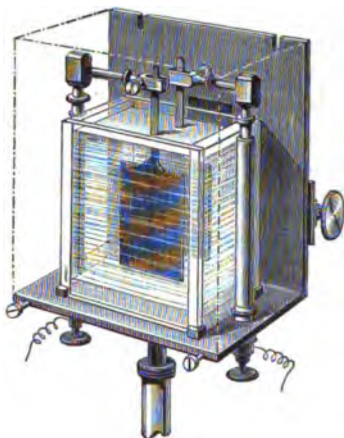
lumière, les effets deviennent alors très intenses. En étendant du chlorure d'argent sur une des lames de platine, et exposant à la lumière, la lame devient *positive*, et le liquide, *négatif*. Si au platine on substituait une lame d'argent, celle-ci serait attaquée par le chlore provenant de la décomposition du chlorure, et elle prendrait l'électricité négative. L'iodure d'argent se comporte comme le chlorure, le bromure donne des effets plus intenses. Si l'on forme directement les composés sur des lames d'argent, les effets sont encore plus énergiques.

Avec les plaques d'argent recouvertes d'iodure, on observe des effets tout à fait remarquables. Si la couche d'iodure est mince, la plaque devient *positive*, sous l'action de la lumière, ce qui montre que le corps a perdu de l'iode; mais si la couche d'iodure est épaisse, la lame devient *négative*. Dans ce cas, l'iodure mis en liberté attaque la lame d'argent. Ce renversement montre que l'effet dépend de l'épaisseur de la couche sensible, et que pour certaines épaisseurs il pourrait y avoir compensation, la lame se comportant alors comme inaltérable. C'est peut-être à une compensation du même genre qu'est dû le phénomène de renversement de l'impression spectrale observé dans le rouge extrême avec les plaques couvertes d'iodure d'argent. Avec le bromure la lame est toujours négative.

Les résultats qui précèdent montrent que l'on peut disposer un appareil qui permette de mesurer par un effet électrique l'intensité de l'action chimique produite par la lumière. Si l'on admet celle-ci par une fente étroite, et si l'on promène l'appareil dans diverses régions du spectre, on aura des courants différents dont l'intensité mesurera l'action chimique dans chacune des régions spectrales. L'appareil (*fig.* 3) qui a servi à ces recherches est devant vos yeux, mon père l'avait appelé l'actinomètre électrochimique. On peut, au moyen de cet appareil, non seulement retrouver les résultats généraux exposés au commencement de cette conférence, mais encore mesurer pour chaque radiation l'intensité de l'action chimique produite et tracer une courbe de ces intensités. Pour le chlorure et l'iodure, les courbes ont leurs maxima dans le violet du spectre; si l'on a soin de faire mouvoir l'appareil d'abord dans le rouge,

puis en s'avançant vers le violet, on n'obtient d'abord aucune action dans le rouge, le jaune et le vert et l'on commence à avoir une action sensible vers la raie F du spectre solaire; mais si, après avoir promené la plaque d'argent iodé dans les rayons actifs, on la ramène vers le rouge, on observe alors, dans le vert, le jaune et le rouge, des actions électriques énergiques dont le maximum est entre les raies D et E du spectre

Fig. 3.



Actinomètre électrochimique.

solaire. Ce résultat est conforme à ce que nous avons vu plus haut à propos des effets continuateurs et des régions du spectre où les sels d'argent se réduisent.

Parmi les substances qui conviennent le mieux à l'actinométrie, il faut placer le sous-chlorure d'argent violet. Quand les lames d'argent ont été convenablement recuites, elles ne sont sensibles que dans la région lumineuse, et paraissent insensibles aux rayons ultra-violets. La courbe des intensités électrochimiques pour les diverses radiations du spectre diffère peu de la courbe des intensités lumineuses, et l'on pourrait substituer cette rétine minérale à la rétine humaine pour les mesures photométriques. On aurait ainsi, par des indications électriques, le moyen de totaliser des impressions et de com-

parer des intensités lumineuses de rayons de diverses couleurs.

Le Tableau qui est mis sous vos yeux résume quelques-unes des expériences de mon père.

SPECTRE SOLAIRE.		INTENSITÉ lumineuse.	INTENSITÉ ÉLECTRIQUE OBTENUE.	
Couleurs principales.	Raies principales.		Avec l'iodure d'argent déjà impressionné.	Avec le sous-chlorure d'argent violet.
Rouge extrême.	A	insensible.	5	à peine sensib.
Rouge orangé.	B	3,2	20	20
—	C	9,4	32	35
Jaune.	D	64,0	68	75
Vert.	»	100 (Maxim. à peu près à 0.3 de DE à partir de D.)	»	»
—	»	»	100 (Maxim. à 0,6 de la distance DE à partir de D.)	100 (Max. à 0,6 de DE.)
—	E	48,0	75	85 à 90?
Commencement du bleu.	F	17,0	25	73
»	»	»	20 (Min. près de F entre F et G.)	»
Bleu indigo.	G	3,1	65	19
»	»	»	100 (Maxim. à peu près à 0,4 de GH à partir de G.)	»
Violet extrême.	H	0,6	72	à peine sensib.
»	I	»	40	»
»	M	»	27	»
»	N	»	17	»
»	O	»	13	»
»	P	»	5	»
»	»	»	»	»

J'ajouterai que les effets électriques observés sont proportionnels aux intensités lumineuses, mais ne sont pas proportionnels aux surfaces des lames éclairées, de sorte que si l'on

veut utiliser l'actinomètre comme photomètre, il faudra laisser constante la surface d'éclairement et éloigner convenablement les sources lumineuses que l'on compare de façon à obtenir un même courant électrique.

Je m'arrête. Les faits que je viens d'énumérer évoquent des expériences bien vieilles et presque tombées dans l'oubli; il n'est pas besoin cependant d'insister sur leur importance scientifique, et peut-être en revenant aujourd'hui à la lumière suggéreront-ils quelque nouvelle application, quelque nouveau progrès. A ce point de vue, il n'était peut-être pas sans intérêt de les rappeler.



LA

PHYSIQUE PHOTOGRAPHIQUE,

CONFÉRENCE DU 10 AVRIL 1892,

Par M. Abel BUGUET,
Professeur de Physique au Prytanée militaire.

MESDAMES, MESSIEURS,

On a pu dire de la Physique qu'elle est la *science des mesures*.

A elle, en effet, le commerce et l'industrie doivent le système métrique.

L'électricité lui doit l'ensemble d'unités absolues désigné sous le nom de système C. G. S.

A la Photographie, qui devient une grande industrie, les physiciens ont appris à étudier les objectifs, les obturateurs, etc.

La Photométrie est sollicitée comme les autres branches de l'Optique, mais c'est seulement depuis peu que les besoins de l'industrie de l'éclairage ont appelé sur elle l'attention des physiciens; elle est dans l'enfance encore et se soucie seulement des radiations qui impressionnent notre œil.

Les premières et rares conquêtes n'éclairent encore que faiblement les phénomènes de la Photographie, car nos préparations sensibles sont loin d'avoir les mêmes propriétés que la rétine.

Jetons un coup d'œil sur ce qui a été fait; nous verrons mieux ce qu'il reste à faire.

Nous devrons, dès l'abord, distinguer la *Photométrie optique* du physiologiste, de l'industriel, et la Photométrie photographique ou mieux *Photométrie graphique*, qui seule intéresse le photographe en étudiant seulement l'action de la lumière sur les préparations sensibles qui sont entre ses mains.

Nous nous contenterons d'ailleurs de montrer comment on peut donner à la Photométrie graphique des définitions précises, des unités pratiques, des méthodes de mesures précieuses, et la discussion des quelques résultats déjà connus nous en fera apprécier l'utilité.

ÉNERGIE GRAPHIQUE.

Il serait naturel de chercher d'abord comment la lumière agit sur nos préparations pour produire *l'image latente* et donner accès aux réducteurs qui la développent.

Mais notre ignorance est complète en ces questions de physique moléculaire où des agents tout différents donnent les mêmes effets.

L'effluve électrique imprime sur nos plaques des images latentes identiques à celles que nous faisons peindre d'ordinaire par la lumière.

Une simple pression sur la préparation produit le même effet et je puis projeter sous vos yeux une plaque sur la gélatine de laquelle j'ai simplement promené une pointe mousse en verre, écrivant ainsi le mot *pression* en caractères invisibles. Le révélateur ordinaire a fait apparaître ces caractères comme s'ils eussent été tracés à l'aide d'un pinceau lumineux.

M. Berthelot, d'ailleurs, a montré que toutes les réactions de la Chimie photographique sont exothermiques et que, par suite, elles ne sauraient admettre l'énergie intervenue comme cause efficiente.

Nous sommes réduits à considérer la lumière comme cause occasionnelle de nos réactions; elle exécuterait seulement le *travail préliminaire* qui n'a pas à être en rapport avec l'importance du résultat, tout comme l'infime énergie produite

par la combustion d'une allumette suffit à provoquer les plus grands incendies.

Nous savons toutefois que les premiers effets de la lumière sont liés à l'énergie qu'elle apporte, si bien que, quelle que soit la fonction qui définit cette relation, la mesure de l'énergie graphique s'impose à tous nos travaux.

Nous appellerons donc **quantité de lumière graphique,** *l'énergie graphique d'une radiation.*

Nous apprendrons plus loin à mesurer les quantités de lumière; mais observons dès maintenant l'intérêt de cette mesure pour la détermination du *temps de pose* dont dépend le succès de toute opération photographique, aux mains de l'industriel, du savant ou du simple amateur.

Cette mesure est donc essentielle en Photographie; mais elle est complexe et peut être décomposée en éléments plus simples qui dépendent :

1° De la source et de son mode d'emploi;

2° De la surface sensible et des conditions où elle est placée.

Nous sommes ainsi amenés à examiner la production de la lumière et son utilisation sur nos préparations.

SOURCES LUMINEUSES.

Puissance d'une source. — *On appelle intensité ou mieux puissance graphique d'une source, le quotient de l'énergie graphique qu'elle donne par sa durée.*

$$P = \frac{Q}{T}.$$

La conférence internationale des électriciens de 1884, d'après le vœu du Congrès de 1881, a admis comme unité de puissance lumineuse celle de l'étalon Violle, si bien que *l'unité de puissance lumineuse est, sous le nom de* **violle,** *la puissance émise normalement par un centimètre carré de platine, à la température de solidification.*

Le Congrès international de Photographie de 1889 approuvait, sur la proposition de M. le général Sebert, un étalon à l'acétate d'amyle, en même temps qu'en Angleterre, en Allemagne, se construisaient des modèles analogues.

L'étalon Sebert est construit à la manière des lampes ordinaires à essence minérale; mais il ne doit brûler que de l'acétate d'amyle chimiquement pur.

M. le général Sebert a trouvé que son étalon petit modèle avait une intensité optique 100 fois moindre que le bec Carcel.

M. Violle a donné $\frac{1}{20}$ pour l'étalon Hefner-Alteneck comparé optiquement à l'étalon de platine.

Mais en 1889, les électriciens, jugeant que l'unité Violle n'*abonde* pas suffisamment au gré des industries qui produisent la lumière, ont adopté comme *unité pratique d'intensité des sources lumineuses, sous le nom de* **bougie décimale**, *le vingtième du violle.*

Les photographes, au Congrès de 1891, ont admis également la bougie décimale, mieux en harmonie avec leurs besoins.

L'étalon Sebert vaut donc optiquement un dixième de bougie décimale, et la lampe Hefner vaut une bougie décimale.

Mais pour nous, photographes, l'unité de puissance des sources lumineuses sera-t-elle la même que pour l'industrie de l'éclairage?

L'étalon sera toujours le platine à température de solidification; mais l'unité sera son intensité graphique et non plus son intensité optique.

La valeur de l'étalon Sebert en bougies décimales serait la même pour les deux industries, si la flamme d'acétate d'amyle émettait une lumière de même composition que celle du platine de M. Violle; mais, comme on sait qu'elle donne une flamme beaucoup plus jaune, il est évident que sa valeur graphique sera moindre que sa valeur optique.

M. Violle s'est chargé lui-même de comparer l'étalon Sebert à son étalon en platine par l'action que chacun exerce sur le gélatino bromure d'argent.

Une plaque au gélatino bromure d'argent était exposée à un

mètre au-dessus du bain de platine découvert pendant une seconde à l'aide d'un écran porté par un pendule à seconde.

La lumière tombait seulement sur un carré d'un centimètre de côté découvert sur la surface de la plaque sensible.

On exposait ensuite la même plaque à un mètre devant l'étalon Sebert, en impressionnant, pendant des temps régulièrement croissants, des plages successives de la plaque, tout autour de la surface déjà impressionnée.

On développait ensuite au bain normal et l'on observait quelle surface éclairée par la lampe avait pris la même teinte que le centimètre carré impressionné par l'étalon au platine.

M. Violle a trouvé ainsi que l'étalon à l'acétate d'amyle ne valait plus graphiquement que o,o3 de la bougie décimale.

Sa puissance graphique est environ le tiers de sa puissance optique.

Cette expérience fera époque en Photographie, car c'est peut-être la première mesure de précision qui ait été faite en Photométrie graphique.

Elle nous permet déjà de donner un sens précis aux mesures qui ont été faites sur diverses sources de lumière.

C'est ainsi que nous avons pu, dans le Tableau I, distinguer la puissance optique et la puissance graphique des sources les plus employées en Photographie.

L'une et l'autre sont exprimées en bougies décimales, et l'on voit que l'écart est grand pour les sources dont les radiations diffèrent de celles du platine incandescent.

Nous avons une unité et des étalons pratiques de puissance graphique; il faut des méthodes de mesure appropriées aux sources que nous employons communément; il faut aussi utiliser judicieusement les étalons à l'étude des impressions photographiques.

L'expérience de M. Violle est un modèle de mesure de puissance graphique.

Pour employer les étalons, il faut les isoler par des écrans de façon à écarter toute lumière qui n'a pas à intervenir.

Pour opérer dans le laboratoire noir, il suffit d'enfermer l'étalon dans une lanterne sourde.

Si l'on veut pouvoir, en plein jour et dans une salle quel-

conque, exposer des plaques sensibles à l'action des étalons, il faut aussi écarter toute lumière extérieure sur le trajet du faisceau émis par l'étalon.

Tableau I.

SOURCES.	PUISSANCES		RAPPORTS.
	Optique.	Graphique.	
Bougie décimale (platine)	1	1	1
Étalon Sebert	0,1	0,03	0,3
Étalon Hefner-Alteneck	1	0,3	0,3
Étalon Carcel	9,6	3	0,3
Bougies. Étoile (stéarine, 6 à la livre)	1,3	0,4	0,3
Bougies. Allemande (paraffine)	1,3	0,4	0,3
Bougies. Anglaise (spermaceti)	1,2	0,3	0,3
Bec Argand (gaz)	16	8	0,5
Lumière oxyhydrique	400	400	1
Arc électrique (Abney)	1400	4500	3
Ruban de magnésium (1gr à 2m et brûle en 130 secondes)	80	500	6
Poudre de magnésium (1gr brûle en $\frac{1}{4}$ de seconde		400 000	
Photo-poudre (1) (1gr de magnésium brûle en $\frac{1}{25}$ de seconde)		900 000	

(1) Les expériences ont porté sur la photo-poudre Eder.

Magnésium	10
Chlorate de potasse	75
Perchlorate de potasse	75

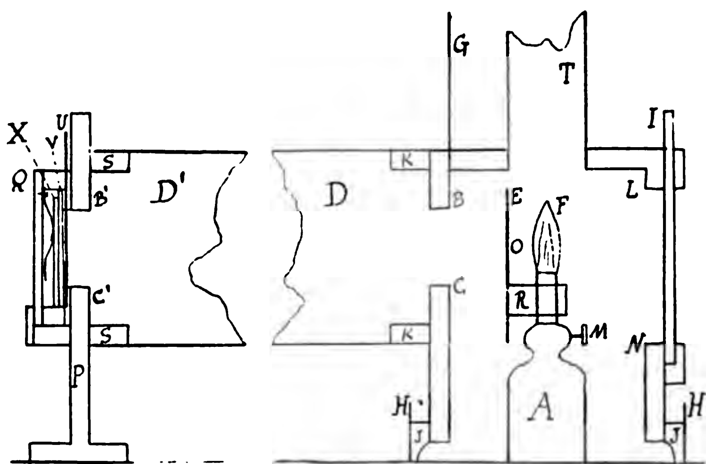
On peut placer étalon et plaque sensible dans une sorte de chambre noire disposée comme celle dont nous nous servons (*fig.* 1) et qui permet en outre de faire intervenir des quantités mesurées de lumière émanant de sources quelconques.

Mais il est certain que l'étalon Violle n'entrera jamais dans la pratique photographique, ni la lampe Carcel. L'étalon à l'acétate d'amyle se répandra davantage; mais la Photographie

ordinaire pourra même se contenter, dans ses mesures, de la bougie ordinaire qui, lorsque la mèche est entretenue en bon état, a une intensité variant seulement de 10 pour 100 environ.

La mesure de la puissance d'une source quelconque, rapportée à celle d'une bougie, pourra se faire par les méthodes

Fig. 1.



Appareil de Photométrie graphique.

A. Lampe étalon. — BCLN. Lanterne. — Q. Châssis portant la plaque sensible X. D'D. Raccord interceptant la lumière.

de la Photométrie optique et l'on devra seulement se rappeler que la ***bougie de l'Étoile à 6 au paquet*** a une puissance graphique d'environ ***une demi-bougie décimale.***

Ce procédé, absolument banni des travaux de précision, sera bien suffisant dans les travaux photographiques, car nos méthodes de développement de l'image latente ont une telle souplesse, qu'elles tolèrent des écarts de pose énormes, bien supérieurs à ceux qui peuvent résulter de la grossièreté des mesures ainsi faites.

Mais la source qui intéresse le plus le photographe, c'est le Soleil, dont la lumière nous arrive après avoir subi des atté-

nuations infiniment variées par son passage au travers de notre atmosphère.

Selon sa hauteur au-dessus de l'horizon, selon, par conséquent, la saison, le jour et l'heure, le Soleil éclaire différemment les objets terrestres.

Le photographe a le plus grand intérêt à connaître ces variations, mais la Science ne nous donne à cet égard que quelques mesures de Photométrie optique très insuffisantes, telles que le Tableau, dû à Bunsen, des variations de la lumière solaire, où ces variations s'accusent considérables; mais elles y seraient beaucoup plus grandes encore si les mesures avaient porté sur la puissance graphique de cette lumière.

Ces résultats sont d'ailleurs profondément troublés par la présence de la vapeur d'eau, des poussières et surtout des nuages.

Cette étude est trop peu avancée pour que nous nous y arrêtions; mais il n'y a pas besoin d'insister pour que l'on juge du grand intérêt qu'elle a pour la Photographie.

UNITÉ D'ÉNERGIE GRAPHIQUE.

L'unité d'énergie graphique est maintenant tout indiquée, car l'énergie graphique est le produit de l'intensité de la source qui la produit par sa durée

$$Q = PT.$$

L'unité pratique d'énergie graphique sera donc, sous le nom de **bougie-seconde** *ou* **rad**, *l'énergie graphique fournie par une bougie décimale en une seconde.*

Le nom de *rad* que nous avons proposé pour la désigner et qui signifie travail, énergie, dans certaines langues, sera avantageux par sa concision et reviendra souvent en Photographie.

On s'étonnera de nous voir choisir sous cette forme une unité d'énergie qui devrait être le kilogrammètre ou l'*erg* dans le système C. G. S.

Malheureusement la Science ne connaît pas encore la rela-

tion qui existe entre l'énergie et la radiation lumineuse; elle ne connaît pas même la fonction suivant laquelle la radiation blanche complexe de l'étalon au platine est liée aux radiations élémentaires qui la composent.

On n'a pu faire là-dessus que des hypothèses reposant sur certains travaux, comme ceux de M. Langley, qui mesurent l'énergie optique par des méthodes qui ne conviennent peut-être qu'aux seules radiations calorifiques.

D'après ces travaux, un rad vaudrait environ

$$5000 \text{ ergs} = 0,005 \text{ mégergs} = 0,00005 \text{ kilogrammètres},$$

mais il s'agit là seulement de la bougie-seconde optique; si les travaux en question ont quelque valeur au point de vue photographique, la valeur du rad graphique serait beaucoup moindre.

Il ressort des écarts qu'on observe entre les résultats des travaux de divers savants et du peu de rapport qu'ils semblent avoir avec la Photographie, que nous devons nous contenter de cette unité arbitraire, la bougie-seconde ou rad, pour mesurer l'énergie graphique.

Quant aux méthodes de mesure de l'énergie graphique, elles ne peuvent reposer que sur l'examen de ses effets photographiques, et ici encore il y a lieu de s'entourer de grandes précautions en raison de l'observation décevante de M. Berthelot.

Nous allons rencontrer ces méthodes dans l'étude d'un nouveau caractère : l'énergie d'une source lumineuse.

ÉNERGIE DES SOURCES.

Voici deux images imprimées sur la même plaque, sous le même cliché et développées ensemble.

La première a reçu la lumière de l'éclair obtenu en projetant $0^{gr},01$ de magnésium pur en poudre dans une flamme d'alcool placée à 1^m.

La seconde a été éclairée par une bougie décimale placée à 1^m, mais pendant 1000 secondes.

Les deux images sont identiques. Elles ont donc reçu la même quantité de lumière; les deux sources ont donc donné la même énergie graphique.

Mais, tandis que la bougie a mis 1000 secondes pour donner les 1000 rads nécessaires, l'éclair magnésique les a fournis en $\frac{1}{10}$ de seconde, en 10 000 fois moins de temps.

Or la durée de ces sources dites instantanées est fort variable et difficile à mesurer, de sorte que leur puissance est toujours mal connue et d'ailleurs peu intéressante, tandis qu'il importe de connaître l'énergie graphique qu'elles donnent.

Nous appellerons **énergie d'une source** *le produit de sa puissance par sa durée* ou bien l'énergie graphique qu'elle donne. L'unité d'énergie des sources sera, naturellement, la *bougie-seconde* ou *rad*.

L'expérience précédente vous montre déjà que l'éclair employé a une énergie de 1000 rads.

Un grand nombre de méthodes peuvent convenir pour mesurer l'énergie de ces éclairs.

Je vous signalerai seulement la suivante, grossière à la vérité, mais suffisante pour la pratique courante, en raison surtout des variations d'énergie que présentent nécessairement des sources semblables.

On fait jaillir l'étincelle à une distance mesurée devant une plaque sensible recouverte d'un écran diaphane divisé en petits rectangles numérotés présentant des opacités graduées suivant une loi connue, par exemple, derrière le septum de M. Warnerke. On développe au bain normal ferreux et l'on observe le dernier numéro apparu.

On fait la même expérience avec une plaque identique en s'éclairant par une source sensiblement constante, une bougie par exemple, dans des conditions déterminées.

On développe et l'on observe encore le dernier numéro visible.

Un calcul très simple donnera en rads l'énergie de la source.

C'est ainsi que nous avons pu mesurer facilement l'énergie de certaines sources instantanées (Tableau II).

Tableau II.

SOURCES.	ÉNERGIE graphique.	DURÉE.	PUISSANCE graphique.	ÉNERGIE par gramme.
Ruban de magnésium (1gr a 0m,7 et brûle en 138 secondes)....	69000	138	480	69000
Ruban de magnésium (1gr a 2m et brûle en 130 secondes)....	63000	130	510	63000
Poudre de magnésium (0gr,05).	5000	$\frac{1}{8}$	40000	100000
» » (0gr,1)..	10000	$\frac{1}{7}$	70000	100000
» » (0gr,3)..	30000	$\frac{1}{5}$	150000	100000
» » (1gr)....	100000	$\frac{1}{4}$	400000	100000
» » (4gr)....	270000	$\frac{1}{2}$	540000	68000
Photo-poudres (1) (0gr,1 de magnésium).................	5800	$\frac{1}{30}$	170000	58000
Photo-poudres (1gr,5 de magnésium).	60000	$\frac{1}{25}$	1500000	40000
Photo-poudres (4gr de magnésium)......................	150000	$\frac{1}{20}$	3000000	38000
CS^2 et AzO^2 (2lit).............	14000			
Étincelles de machine Holtz (8cm de long. — 300 par minute)...	0,2			

(1) Voir la note de la page 500, Tableau I.

La même méthode appliquée à l'éclair produit par la vapeur du sulfure de carbone brûlant dans le bioxyde d'azote, nous a montré que deux litres du mélange donnent une énergie graphique sensiblement égale à celle que fournit un décigramme de magnésium.

Cette source a été employée par M. Lirondelle à obtenir des photographies la nuit.

C'est ainsi encore que nous avons trouvé que les grandes

étincelles de la machine de Holtz à quatre plateaux ont une énergie graphique de $\frac{1}{5}$ de rad, de sorte que, pour photographier un sujet éclairé par cette lumière, il faudrait poser des heures, bien que j'aie compté environ 300 étincelles par minute.

Voici depuis peu l'aluminium qui entre en lutte avec le magnésium et donne des résultats dont leurs auteurs sont émerveillés. Il y a sans doute là quelque chose à prendre, car l'aluminium ne donne pas les fumées si gênantes de la magnésie.

Toutefois, il y a lieu de faire des mesures avant de se prononcer.

Mais il est un autre caractère qui a grand intérêt pour ces sources instantanées; c'est leur durée.

DURÉE DES SOURCES.

Tel éclair durera trop longtemps pour la reproduction nette d'un mouvement de quelque rapidité, lorsqu'un autre permettra des instantanés rapides.

Voici comment nous mesurons la durée de ces éclairs.

Un pendule P (*fig.* 2) se termine par un écran E, percé d'une fente F verticale et celle-ci oscille derrière une fente sinueuse A pratiquée dans un écran fixe B. Les sinuosités sont tracées de façon qu'elles soient parcourues par le pendule dans des temps égaux, fractions connues de la durée d'oscillation.

L'éclair S est produit derrière le double écran et l'on voit un point lumineux parcourir les sinuosités pendant la durée de l'éclair.

On photographie cette ligne brillante (*fig.* 2), et le nombre de sinuosités que l'on compte après développement permet de calculer immédiatement la durée de l'éclair.

Inutile d'ajouter que la méthode s'applique aussi bien à la mesure du temps de pose des obturateurs.

Connaissant l'énergie et la durée d'un éclair, il est facile de calculer sa puissance, produit de ces deux grandeurs (Tableau II).

Mais ces puissances n'ont guère d'intérêt pratique.

Plus important est au contraire un quatrième caractère des sources lumineuses : le rendement.

RENDEMENT.

Les sources lumineuses sont de véritables machines transformant en énergie lumineuse l'énergie chi-mique, mécanique, électrique qu'on leur fournit.

Le **rendement graphique** *d'une source est le rapport de l'énergie graphique qu'elle donne à l'énergie qu'elle absorbe.*

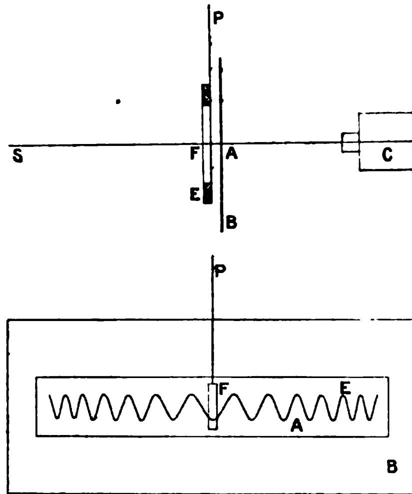


Fig. 2. — Mesure de la durée des éclairs lumineux.

L'expression du rendement graphique est évidemment tributaire de toutes les hypothèses que nous avons signalées plus haut, aussi le Tableau que nous donnons, d'après les travaux de MM. Langley, Tumlirz, Heine, Witz et d'après les observations de M. Guillaume, n'est-il qu'une approximation grossière.

On sera cependant frappé de la petitesse des rendements des sources usuelles et l'on s'étonnera que l'industrie ne soit pas plus avare de cette énergie qui est de l'argent, au moins à l'égal du temps.

Il faut dire que c'est seulement depuis que l'éclairage élec-

trique a donné aux diverses industries concurrentes le coup de fouet que l'on sait, que l'on s'est soucié du rendement des sources lumineuses.

La Photographie n'en est même pas encore là; elle prodigue son or pour un peu de lumière; mais elle aussi devient peu à peu une grande et sérieuse industrie, et ce n'est pas prêcher dans le désert que lui enseigner l'économie.

La Photométrie optique ou plutôt bolométrique de M. Langley nous donne un renseignement précieux, après les travaux de M. R. Dubois.

La lumière émise par le *Pyrophorus noctilucus*, insecte phosphorescent de *Cuba*, ne contient pas trace de radiations calorifiques et donne seulement une lumière jaune verdâtre, celle précisément qui est la plus active à l'œil.

Voilà donc un modeste ingénieur qui ne brûle pas sa poudre aux moineaux et sait produire sa lumière utile sans le cortège de radiations coûteuses et superflues dont nous ne savons nous passer.

En lui arrachant son secret, l'industrie de l'éclairage aura fait un immense progrès; mais n'y a-t-il pas là quelque peu à glaner pour nous photographes.

M. Raphaël Dubois a montré que le pyrophore donne aussi fort peu de radiations graphiques.

Les microbes lumineux étudiés à Wimereux par M. Giard, fournissent une belle lumière très éclairante, mais pauvre également en radiations graphiques.

Disons, en passant, qu'une telle source, capable peut-être de devenir pratique, serait la meilleure lumière pour le laboratoire de développement.

Le jour où nous saurons, à la manière des *pyrophores* et des noctiluques, produire exclusivement la radiation qui nous est utile, l'éclairage photographique sera bien près de la perfection.

L'expression rigoureuse du rendement nous fournit d'ailleurs un renseignement que nous ne sommes guère en état d'utiliser dans l'état actuel de nos connaissances.

Nous y verrons plus clair en exprimant en rads l'énergie graphique de la source, comme il a été fait dans les dernières colonnes des Tableaux II et III.

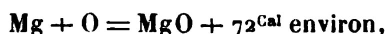
Tableau III.

SOURCES.	RENDEMENT en millioniėmes.	RADS PAR 10.000 mégergs ou bougies décimales par kilowatt.
Bougie	2	4
Lampe à huile	3	5
» à pétrole	5	8
Bec de gaz papillon	2	3
» Argand	4	7
» Siemens	9	14
Lampe à incandescence	180	280
Photo-poudre (¹) (magnésium)	1000	1600
Ruban de magnésium	1600	2600
Poudre de magnésium	2500	4000
Arc électrique	2500	4000
Tube de Geissler	3200	5200

(¹) Voir la note de la page 500, Tableau I.

Ces nombres, d'ailleurs, sont infiniment plus sûrs que les précédents et faciles à calculer en un grand nombre de cas.

Pour la combustion du magnésium pur, par exemple, qui est représentée par l'équation



$$Mg + O = MgO + 72^{Cal} \text{ environ},$$

on voit que la combustion d'un gramme de métal donne environ

$$\frac{72}{12} = 6^{Cal} = 6 \times 41\,700 = 250\,200 \text{ mégergs}.$$

Or, ce même gramme de magnésium brûlant en poudre dans une flamme d'alcool nous donne 100 000 rads graphiques; donc, pour chaque mégerg dépensé, on obtient

$$\frac{100\,000}{250\,200} = 0,4 \text{ rads environ};$$

donc

10 000 mégergs donnent 4000 rads,
1 kilowatt donne 4000 bougies décimales.

Les nombres que l'on obtient ainsi sont précieux pour nous montrer tout ce qu'il y a de progrès à réaliser; mais la théorie mécanique de la lumière est trop peu connue, des praticiens surtout, pour que nous trouvions là matière à application immédiate.

La comparaison des rendements de diverses sources, où la même réaction est employée de façons différentes, nous donnera, au contraire, des indications immédiatement utilisables.

Le magnésium est employé en Photographie, tantôt pur, en rubans ou en poudre, tantôt mélangé à des substances explosives, comme le chlorate de potasse, qui lui fournissent de l'oxygène.

Comparons les énergies graphiques obtenues lorsque l'on brûle un gramme de métal sous l'une ou l'autre forme.

On voit que la poudre de métal pur donne mieux que les deux autres sources; ce sont les photo-poudres qui donnent le moindre rendement. Si le chlorate de potasse active la combustion, on comprend qu'une partie de la chaleur produite soit perdue à échauffer les produits secondaires de la réaction et que ces derniers, d'ailleurs, absorbent une partie de la lumière utile.

L'examen de ces nombres montre aussi qu'il y a lieu d'espérer un bien meilleur effet de la poudre de magnésium pur brûlant dans l'oxygène pur.

La combustion sera plus rapide que dans l'air, comparable à celle des photo-poudres et peut-être même plus vive. Le rendement sera meilleur, car nous ne perdrons plus de chaleur en échauffant inutilement l'azote de l'air.

C'est dans cette voie qu'il faut chercher le progrès. La combustion du ruban de magnésium dans l'oxygène est déjà employée dans les ateliers anglais; on aura mieux quand on y saura brûler la poudre.

Le même Tableau nous montre que l'énergie graphique est proportionnelle au poids de métal brûlé. C'est là une donnée

précieuse pour la pratique et qui nous permettra de donner, dans chaque cas, la quantité de lumière qui produira le meilleur cliché.

Ce dosage de l'éclairage a naturellement la plus grande importance et quelques projections en montreront bien la nécessité.

Nous n'en avons pas fini avec les caractères des sources lumineuses, car, identiques par l'intensité, l'énergie, la durée, le rendement, deux sources peuvent encore différer par l'éclat.

ÉCLAT.

*L'***éclat** *d'une source est le quotient de son intensité par sa surface* $E = \frac{P}{S}$.

Cette notion importe beaucoup au photographe, car c'est l'éclat d'une source qui déterminera, plus que ses autres caractères, la rapidité avec laquelle elle imprimera son image sur nos plaques sensibles.

Disons de suite qu'il importe peu à notre objectif que le modèle engendre lui-même la lumière qu'il nous envoie ou bien qu'il réfléchisse ou diffuse la lumière qu'il reçoit d'une autre source.

Corps diffusant ou source originelle, l'un et l'autre sont source lumineuse pour le photographe.

Vous voyez mieux ainsi l'intervention de l'éclat du modèle dans le travail de la chambre noire.

Voici une image où, du noir pur au blanc éclatant, tout est dû à l'inégalité d'éclat des divers points du modèle.

Il y a donc lieu de mesurer cet éclat.

L'unité pratique d'éclat est, sous le nom de **bougie par centimètre carré**, *l'éclat d'une source d'un centimètre carré de surface et dont l'intensité est d'une bougie décimale.*

Pour mesurer les éclats, on peut employer le photomètre de M. Mascart, modifié par M. Sebert pour cette application spéciale.

S'il s'agit d'une source génératrice de lumière, les conditions

du problème seront les mêmes, et vous savez par expérience combien il est essentiel de tenir compte de l'éclat des sources qui peuvent se rencontrer dans le champ de l'objectif.

Telle source, comme l'étincelle d'une machine électrique, donne si peu d'énergie qu'elle est absolument insuffisante pour permettre de photographier un objet blanc qu'elle éclaire. La voici au contraire qui, malgré son peu de durée, donne d'elle-même la plus brillante reproduction.

Ces merveilleux éclairs, si faciles à photographier, arrivent rarement à éclairer suffisamment autour d'eux pour que l'épreuve porte autre chose que le trait de feu.

S'il s'agit de sources continues, voyez combien leur éclat est gênant.

Ces lampes électriques ont produit une solarisation intense, tandis que la scène qu'elles éclairent est à peine venue.

La pose même pour elles a été tant exagérée que vous les voyez entourées de ces merveilleux halos dont M. Cornu nous a donné l'an dernier la théorie complète.

C'est encore pour n'avoir pas assez tenu compte de l'inégalité d'éclat des divers points du modèle qu'on obtient ces halos si variés qui déparent les photographies d'intérieurs et qu'on n'arrive à éviter qu'en combinant l'action de la lumière magnésique avec l'imparfait éclairage du jour.

Mais le plus souvent notre modèle n'est pas source originelle de lumière; c'est un corps diffusant qui nous envoie une partie de la lumière qu'il a reçue d'autre source.

Il intervient alors pour modifier à sa façon la lumière incidente par divers phénomènes dont il est le siège.

La lumière qu'il dirige vers notre objectif nous intéresse seule et dépend de ce qu'on appelle son *pouvoir diffusif.*

Le pouvoir diffusif d'un corps, au point de vue photographique, est le rapport de l'énergie graphique qu'il envoie dans la direction considérée à l'énergie graphique qu'il a reçue dans le même temps.

La mesure de ce pouvoir diffusif est assez facile dans des cas simples; mais sa théorie est ce qu'on peut imaginer de plus complexe, car chaque corps agit très différemment sur les diverses radiations.

C'est ainsi que les masses de verdure, qui font si heureux effet dans un paysage, sont redoutées comme la peste par le photographe, qui leur doit ses plus cruelles déceptions.

Non seulement elles diffusent en tout temps fort peu de la lumière incidente, mais encore leur pouvoir diffusif varie avec la saison dans des limites désespérément étendues.

La sélection faite parmi les diverses radiations par les corps qui les reçoivent est la cause de ces surprises du praticien qui ne tretrouve plus du tout dans son image les effets dont il avait réjoui son œil à l'examen du modèle.

C'est là qu'intervient la Photographie orthochromatique en corrigeant cette aberration déplorable du gélatinobromure d'argent ordinaire.

Mais nous passerons sur ces considérations qui nous mèneraient trop loin et, après avoir étudié la lumière qui se dirige vers notre objectif émanant des sources originelles ou non qui la lui envoient, voyons-la arriver à la plaque sensible et suivons-la dans ses effets.

ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LES SURFACES ÉCLAIRÉES.

Éclairement. — *On appelle* **éclairement** *d'une surface le quotient de l'intensité de la source par le carré de sa distance, tant que l'incidence demeure normale,* ce que nous supposons ici.

Cette notion nous intéresse déjà dans le modèle diffusant, car l'éclat qu'il doit avoir pour notre objectif est déjà proportionnel à son éclairement.

Voici des images de sujets analogues obtenues les unes au bord de la mer où la lumière afflue de toutes parts, d'autres plus loin dans les terres ou par des ciels couverts où l'éclairement est moindre.

Les effets sont bien différents.

Il est bien difficile de faire des calculs sur de tels sujets où les tableaux de M. Bunsen sont seuls capables de nous guider un peu; mais il n'en est plus ainsi lorsque l'on fait usage des lumières artificielles.

L'éclairement alors peut être calculé et intervenir efficacement dans la détermination du temps de pose.

L'unité pratique d'éclairement est, sous le nom de **bougie à 1 mètre,** *l'éclairement d'une surface placée à 1 mètre devant une bougie décimale.*

Le nom de *lux* que nous proposions l'an dernier pour désigner cette unité vient d'être repris par M. Palaz, de Lausanne, et peut-être fera-t-il son chemin.

Mais l'éclairement produit en un point sur la plaque sensible, dans la chambre noire, nous donne l'indication la plus directe pour l'évaluation du temps de pose.

Un grand nombre d'instruments ont été construits pour mesurer cet éclairement; malheureusement ils sont de conseil peu sûr, et le calcul, en fonction des caractères du modèle et de l'appareil photographique, donne aussi bien.

La distribution de la lumière étant la même sur l'image que sur le modèle, il y aurait lieu de répéter ici ce que nous avons dit plus haut à ce sujet.

Mais l'impression d'une surface sensible ne dépend pas seulement de son éclairement, elle est fonction aussi de la durée de cet éclairement, de ce que nous appelons le temps de pose.

L'énergie graphique reçue par centimètre carré est le produit de ces deux facteurs en admettant la loi formulée par M. Janssen.

ILLUMINATION.

Le Congrès international de Photographie de 1891 a appelé **illumination** *d'une surface le produit de son éclairement par la durée de celui-ci,*

$$I = ET.$$

Il a pris *pour unité d'illumination, sous le nom de* **phot,** *l'illumination d'une surface éclairée normalement pendant une seconde par une bougie décimale placée à 1 mètre.*

ÉNERGIE REÇUE.

L'énergie reçue par une préparation est le produit de son illumination par sa surface.

Ces notions nouvelles ont l'avantage de simplifier le langage, car il suffira de dire qu'une couche sensible a reçu tant de phots pour qu'on puisse apprécier l'effet produit, si l'on connaît assez les propriétés de la préparation.

Cette intervention des propriétés de la préparation nous amène à examiner cette dernière et à voir comment elle se comporte sous l'action de l'énergie graphique.

SENSIBILITÉ DES PRÉPARATIONS.

Comment apprécier cette sensibilité?

Évidemment, par l'effet produit sur les diverses couches par une même énergie appliquée à une surface constante, c'est-à-dire par l'effet d'une illumination constante.

La mesure de cet effet ne peut être obtenue sérieusement que par l'étude des propriétés mêmes de la préparation, par l'examen de quelqu'un de ses caractères qui soit bien fixe.

Parmi les transformations que peut éprouver une préparation sous l'action de la lumière, celle qui nous intéresse le plus est le changement qu'éprouve, après développement; sa transparence ou plutôt, selon l'expression précise du capitaine Abney, sa *diaphanéité*.

Voici une plaque qui a reçu en diverses régions des illuminations variées et qui, après le développement, présente des plages qui laissent passer la lumière de façons fort différentes.

Cette modification donne au cliché les caractères que nous utilisons pour en tirer des photocopies; elle est d'ailleurs assez constante pour nous servir à mesurer l'effet de la lumière; mais il importe de la définir précisément.

La **diaphanéité** *d'un corps est le rapport de l'intensité du faisceau qu'il laisse passer à l'intensité du faisceau incident.*

Apprenons à mesurer cette diaphanéité pour estimer par là la sensibilité de nos préparations.

La Photométrie optique nous en donne les moyens. Nous aurons recours à de véritables photomètres légèrement modifiés pour devenir des *diaphanomètres*.

Une méthode exclusivement photographique a pu nous donner un contrôle qui n'est pas sans intérêt lorsque nous employons des méthodes de Photométrie optique à l'étude de la diaphanéité graphique qui nous intéresse seule ([1]).

Nous avons tout ce qu'il faut maintenant pour mesurer la sensibilité d'une préparation, et elle sera exprimée par un nombre si nous choisissons une unité.

L'unité de sensibilité devra être caractérisée par une diaphanéité déterminée qu'il s'agit de choisir.

Ce choix a été confié par le Congrès de 1891 à une Commission internationale dont la tâche n'est pas peu de chose, car il y a des méthodes diaphanométriques à contrôler ou même à créer avant d'arriver au but.

Quelle que soit la diaphanéité la plus exactement mesurable, il est évident que celle qui doit être prise ici pour type devra être aussi faible que possible, car le phénomène est d'autant plus simple qu'il est moins avancé.

D'autre part, c'est encore l'impression la plus légère qui intéresse le plus le photographe, puisque c'est elle qui lui donne la limite de ses moyens d'investigation.

Mais l'appréciation de cette impression minimum dépendrait évidemment de la sensibilité de l'œil qui la déterminerait; aussi doit-elle être définie autrement.

L'expérience apprendra aisément quelle est la diaphanéité qui se mesure avec le plus de précision.

On prendra alors pour diaphanéité normale une fraction de la précédente définie par un nombre tel qu'elle soit voisine de la limite perceptible d'ordinaire à l'œil.

Dès lors l'unité de sensibilité, en tenant compte de ces considérations, et d'après la première résolution du Congrès de 1891, se trouvera ainsi définie :

([1]) Voir *Photo-Journal*, 1892, p. 91.

*L'***unité pratique de sensibilité** *des préparations photographiques est celle de la plaque qui, sous l'illumination d'un phot et après développement approprié, prend la diaphanéité normale.*

Le développement sera celui qui convient le mieux à la préparation, ou, à défaut, le développement normal du Congrès.

Un tel choix aura ce précieux avantage que l'on pourra dire d'une plaque qu'elle a pour sensibilité 4 ou bien qu'elle est sensible à 4 *phots*.

Il est peu probable que s'impose la nécessité de donner un nom à l'unité de sensibilité; si pourtant cela devenait utile, nous avons proposé en août 1891 à la Commission permanente du Congrès, par l'organe de M. le général Sebert, de lui réserver le nom de *niepce*, afin de rendre hommage au premier inventeur de la Photographie, un peu trop oublié dans l'évolution du daguerréotype.

Nous n'entrerons pas dans le détail des mesures de sensibilité. La *sensitométrie* est la grande préoccupation du monde photographique; mais les méthodes et appareils ont besoin d'études nouvelles.

Toutefois, nous ne pouvons oublier de signaler les récentes expériences de M. de la Baume Pluvinel, qui a su doser chimiquement, par la méthode classique de Gay-Lussac, l'argent mis en liberté au milieu de la gélatine d'une plaque impressionnée et développée.

Il y a là le point de départ d'une méthode sensitométrique de laboratoire et un contrôle des mesures diaphanométriques.

Malheureusement, là aussi, l'hétérogénéité des préparations sensibles limite beaucoup la précision des mesures, qui ne semble guère pouvoir aller au delà du dixième.



PROGRAMME, POUR L'ANNÉE 1892-93,

DES COURS PUBLICS ET GRATUITS DE HAUT ENSEIGNEMENT

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS [1].

Géométrie appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. le Colonel A. Laussedat, professeur; M. Ch. Brisse, professeur suppléant.

Grandeur et figure de la Terre. — Cartes géographiques et topographiques. — Instruments de lever et de nivellement. — Méthodes régulières, méthodes rapides, lever des plans à l'aide de la Photographie. — Cadastre. — Étude des formes générales du terrain. — Tracé des voies de communication et des travaux d'art. — Calcul des surfaces, des déblais et des remblais. — État de la Topographie et de la Cartographie en France et à l'étranger.

Géométrie descriptive (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. E. Rouché, professeur.

La coupe des pierres. — Portes et berceaux simples horizontaux. — Les divers appareils relatifs aux ponts biais. — Berceaux tournants et voûtes sphériques. — Berceaux composés : voûte d'arêtes et voûte en arc de cloître; voûte d'arêtes en tour ronde; lunette. — Descentes; trompes; arrière-voussures. — Escalier vis à jour; escaliers à noyau plein; vis Saint-Gilles.

Mécanique appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. J. Hirsch, professeur.

Revision des principes fondamentaux de la Mécanique. — Applications aux mécanismes usuels. — Hydrostatique. — Hydraulique et machines hydrauliques. — Thermodynamique.

Constructions civiles (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts). — M. Émile Trélat, professeur, remplacé, en cas d'empêchement, par M. J. Pillet.

Les Matériaux. — I. *Propriétés constructives :* Persistance de constitu-

---

[1] Tous ces cours ont lieu le soir et leur durée réglementaire s'étend du 3 novembre au 30 avril.

tion. — Permanence de figure. — Résistances mécaniques. — Capacité stabilitaire. — Capacité d'isolement. — Capacité formelle. — Capacité économique. — II. *Classification des Matériaux* : Matériaux morphogènes. — Matériaux reliants. — Matériaux à résistances symétriques. — Matériaux à constitution permanente. — Matériaux amorphogènes ou transparents.

Physique appliquée aux Arts (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. J. VIOLLE, professeur [1].

Électricité. — Lois fondamentales des phénomènes électriques et magnétiques. — Instruments de mesure. — Magnétisme terrestre. — Boussoles. — Sources d'électricité. — Machines électriques. — Piles. — Accumulateurs. — Machines dynamo-électriques et magnéto-électriques. — Transformateurs. — Applications de l'électricité. — Galvanoplastie. — Transport de l'énergie. — Télégraphie. — Téléphonie. Photophonie. — Éclairage électrique. — Électricité atmosphérique.

Électricité industrielle (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. Marcel DEPREZ, professeur.

Étude des lois fondamentales de l'Électricité et du Magnétisme *au point de vue spécial des applications à l'Industrie.* — Lois de la transmission de l'énergie sous toutes ses formes au moyen de l'électricité. — Production industrielle de l'électricité. — Machines dynamo-électriques à courant continu. — Calcul détaillé des dimensions d'une machine devant satisfaire à des conditions déterminées. — Emploi de la machine dynamo-électrique comme moteur. — Transmission de la force au moyen de deux machines à courant continu.

Chimie générale dans ses rapports avec l'Industrie (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. É. JUNGFLEISCH, professeur.

Chimie organique. — Définitions et notions générales. — Principes immédiats des êtres vivants; méthodes générales applicables à leur étude. — Classification des composés organiques. — Histoire particulière des substances organiques les plus usitées : Carbures d'hydrogène, alcools, éthers, phénols, aldéhydes, acides, matières azotées; production, propriétés, réactions, applications, notions analytiques.

Chimie industrielle (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. Aimé GIRARD, professeur.

Industries de fermentation. — Vins rouges et blancs; vins de Champagne. — Vins de marcs; vins de raisins secs; vins de liqueur. — Cidres

---

[1] Le programme des leçons données par M. Violle, depuis l'inauguration de son cours à la date du 15 janvier 1892, a été le suivant :

Optique. — Miroirs, prismes, lentilles. Instruments d'Optique. — Interférences. Diffraction. Polarisation. Saccharimètres. — Radiation. Spectroscopie. Photométrie. Photographie.

et poirés. — Brasserie; maltage; fabrication et conservation de la bière. — Maladies des boissons fermentées. — Distillerie; eaux-de-vie et esprits-de-vin; alcools de grains, de pommes de terre, de mélasses, de fruits. — Rectification des alcools. — Vinaigrerie. — Tartre et acide tartrique.

Métallurgie et Travail des métaux (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. U. Le Verrier, professeur.

Étude de l'outillage métallurgique. — I. Machines à travailler les métaux : Marteaux, presses, laminoirs, etc. — II. Fours métallurgiques : Construction des fours; fabrication des briques réfractaires. — III. Appareils servant à la préparation mécanique des minerais et des combustibles.

Chimie appliquée aux industries de la Teinture, de la Céramique et de la Verrerie (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. V. de Luynes, professeur.

Matières colorantes naturelles et artificielles. — Propriétés générales, préparation, synthèse. — Caractères distinctifs, classification. — Étude chimique des fibres végétales et animales. — Blanchiment. — Mordançage. — Teinture, impression, procédés mécaniques. — Fabrication des papiers peints.

Chimie agricole et Analyse chimique (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. Th. Schlœsing, professeur.

Exemples de l'application de l'analyse chimique à l'étude de diverses cultures. — Alimentation rationnelle du bétail. — Analyse chimique minérale appliquée aux matières agricoles.

Agriculture (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. É. Lecouteux, professeur; M. L. Grandeau, professeur suppléant.

Les végétaux de la grande culture. — Continuation de l'étude des *Céréales.* — Blé, seigle, avoine, orge, maïs, sarrasin, etc.

Plantes sarclées. — Pommes de terre. — Betteraves fourragères. — Betteraves sucrières. — Navets, turneps, etc.

Prairies naturelles et artificielles.

Travaux agricoles et Génie rural (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts). — M. Ch. de Comberousse, professeur.

Étude des sources de travail employées en Agriculture : moteurs animés et inanimés (Suite et fin).

Du travail mécanique des animaux de la ferme et de leur alimentation.

Machines usuelles : Manèges. — Moteurs et machines hydrauliques. — Machines à vapeur rurales. — Appareils de transmission.

Travaux agricoles : Labourages. — Semailles. — Modes de culture. — Récoltes.

Machines agricoles proprement dites : Charrues de toute espèce. — Semoirs. — Moissonneuses, faucheuses, faneuses, etc.

Filature et Tissage (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. J. IMBS, professeur.

Caractères et propriétés des principales fibres. — Fibres naturellement constituées et fibres préparées. — Agrégation des fibres en fils. — Titrage des fils. — Fibres dites continues, vers à soie, filature et moulinage de la soie. — Fibres discontinues courtes; égrenage et battage du coton; principes du cardage; principes de l'étirage et de l'affinage des rubans fibreux. — Principes du filage en droite fibre.

Économie politique et Législation industrielle (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. É. LEVASSEUR, professeur.

Production des richesses. — Comment s'est formée la science économique. — Les richesses naturelles. — Le travail de l'homme. — Le capital. — Le rôle de l'intelligence et l'éducation. — Propriété et communisme. — La liberté individuelle et les fonctions de l'État.

Économie industrielle et Statistique (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. A. DE FOVILLE, professeur.

Moyens d'action de l'industrie humaine. — La nature. — Climats, continents, mers, fleuves, montagnes, etc. — L'homme. — Naissances, décès, etc. — Statistique démographique. — Les populations en France et à l'étranger.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS

LE TOME QUATRIÈME DE LA DEUXIÈME SÉRIE.

PLANCHES.

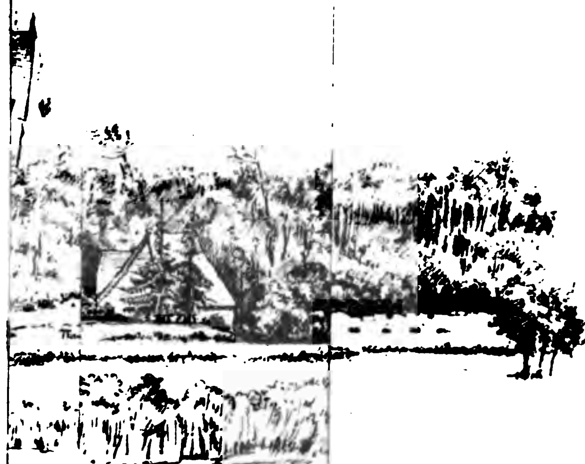
Pl. I. — Études sur l'aluminium.

Pl. II à *VI* et *Pl. A* (page 406). — L'Iconométrie et la Métrophotographie.



Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.





LAURSSDAT ET SABATIER PARIS-CHATEAUDUN